RÉSULTATS

DES

CAMPAGNES SCIENTIFIQUES

DU

PRINCE DE MONACO

Ce Fascicule a été publié et le dépôt fait au Gouvernement à Monaco

le 1er octobre 1902

RÉSULTATS

DES

CAMPAGNES SCIENTIFIQUES

ACCOMPLIES SUR SON YACHT

PAR

ALBERT Ier

PRINCE SOUVERAIN DE MONACO

PUBLIÉS SOUS SA DIRECTION

AVEC LE CONCOURS DE

M. JULES RICHARD

Docteur ès-sciences, chargé des Travaux zoologiques à bord

FASCICULE XXII

Echantillons d'eaux et de fonds provenant des campagnes de la PRINCESSE-ALICE

(1901)

Par J. THOULET

AVEC TROIS PLANCHES

E DE MONACO

1902

MARINE BIOLOGICAL LABORATORY.

Received July 1903

Accession No. 2074

Given by Albert Prince de Monaco

Place,

*No book or pamphlet is to be removed from the Laboratory without the permission of the Trustees.

ETUDE

DES

ECHANTILLONS D'EAUX ET DE FONDS

RÉCOLTÉS

PENDANT LA CAMPAGNE DU YACHT *PRINCESSE-ALICE*

DANS L'ATLANTIQUE NORD EN 1901

PAR

J. THOULET

ETUDE

DES

ECHANTILLONS D'EAUX ET DE FONDS

RÉCOLTÉS

PENDANT LA CAMPAGNE DU YACHT *PRINCESSE-ALICE*

DANS L'ATLANTIQUE NORD EN 1901

PAR

J. THOULET

Le yacht *Princesse-Alice*, commandé par S. A. S. le Prince de Monaco, parti de Toulon le 5 juillet 1901, après avoir franchi le détroit de Gibraltar et suivi au large, les côtes du Maroc et du Sahara, a visité successivement les Canaries et l'archipel des îles du Cap Vert. A la suite d'une pointe dans les portions plus centrales et plus profondes de l'Atlantique, au sud-ouest de cet archipel, il est revenu sur ses pas, a passé à Madère, traversé une seconde fois le détroit de Gibraltar et est rentré à Marseille et à Monaco dans les derniers jours de septembre. Pendant cette campagne, on a récolté 22 échantillons de fonds et 49 échantillons d'eaux. Nous allons décrire séparément les études auxquelles les uns et les autres ont donné lieu.

I. — ECHANTILLONS D'EAUX

A. — Récolte

Les échantillons de surface ont été recueillis à l'aide d'un seau en toile qu'on laissait immergé dans la mer, le long du bord, pendant un temps suffisant pour qu'on fût certain qu'il s'était bien mis en équilibre de température. Aussitôt amené

sur le pont, la température était prise avec un thermomètre gradué en dixièmes de degré et l'eau était versée dans un flacon d'environ deux litres bouché à l'émeri. Les densités ont été le plus souvent prises pendant les relâches, les mouvements du navire rendant les lectures incertaines en cours de navigation. Elles étaient mesurées au moyen d'un aréomètre type du Challenger étalonné à Nancy (aréomètre n° 26), dans une éprouvette suspendue au plafond par des cordelettes. La température était directement observée au dixième de degré et la valeur de la densité calculée par le procédé connu consistant à diviser le poids de l'instrument avec ses surcharges par le volume de sa portion immergée évalué avec l'approximation d'une demi-division de la tige, chacune d'elles ayant une longueur de 1 millimètre et conformément à la table jointe à l'instrument. La correction de température était appliquée. Les échantillons superficiels n'ont pas été conservés.

Les échantillons de profondeur, tous pris au contact du fond, ont été récoltés au moyen du tube sondeur Buchanan, la température étant fournie au dixième de degré, par un thermomètre à retournement déclanché par un messager aussitôt après que l'on était assuré que le plomb reposait bien sur le fond. La profondeur était indiquée, avec les précautions convenables, par le compteur du sondeur. L'échantillon ramené sur le pont, était immédiatement versé dans un flacon à l'émeri. La plupart d'entre eux revenaient souillés de vase ce qui était un inconvénient sérieux pour la prise de la densité par l'aréomètre ou par le pycnomètre ainsi que pour le dosage ultérieur de la chloruration [1]. C'est pourquoi ils ont dû être filtrés sur du papier. L'opération s'effectuait très rapidement de sorte que l'évaporation était absolument négligeable et l'eau coulait parfaitement limpide. Il serait néanmoins désirable que la bouteille et le thermomètre fussent attachés au fil de sonde à une distance un peu plus grande et fixe, 5 mètres par exemple, de la base du plomb. On éviterait ainsi la filtration, ce qui serait une simplification.

Il serait à désirer aussi que ces tubes sondeurs de Buchanan eussent une capacité un peu plus grande. Avec quelque soin que l'on procède, il faut de l'eau pour rincer le flacon où on la conserve et, si l'on prend la densité à l'aréomètre, on doit rincer l'éprouvette. La filtration, si elle a été jugée indispensable, use encore un peu d'eau. Dans ces conditions, avec une grande éprouvette, la pointe inférieure de l'aréomètre, pour peu que le bâtiment oscille, risque de toucher le fond de l'éprouvette et, si l'éprouvette est étroite, le voisinage de ses parois et de l'aréomètre exerce sur la mesure une influence fâcheuse [2].

C'est pour ce motif que je me suis abstenu de prendre à l'aréomètre la densité des échantillons d'eaux du fond, opération dont j'aurais considéré le résultat comme douteux et qui, exigeant un certain temps par les températures très élevées de l'air

[1] Voir à ce sujet les travaux de MM. F.-A. Forel et Odin dans Thoulet, *Océanographie (statique)*, p. 337.

[2] Fridtjof Nansen. X. *On hydrometers and the surface tension of liquids*. The Norwegian North-Polar Expedition 1893-96. Scientific Results.

pendant toute la durée de la campagne, aurait eu l'inconvénient de provoquer une concentration par une évaporation impossible à considérer comme négligeable. Les échantillons d'eaux conservés dans le flacon préalablement rincé avec un peu de l'eau rapportée, étaient filtrés directement dans les flacons où ils devaient être définitivement conservés jusqu'au moment de leur analyse dans le laboratoire de Nancy.

Ces flacons sont réunis par groupe de quinze dans des caisses à peu près semblables à celles dont la description a été faite par M. Dickson [1] et que je n'ai que légèrement modifiées. Ils contiennent 250 g d'eau (Pl. 1, fig. 1). Ils ont été rincés à l'eau pure, puis à l'eau distillée et laissés sécher le goulot tourné vers le bas, à l'abri de la poussière. Ils sont bouchés avec un bouchon parfaitement sain, bien écrasé et paraffiné; enfin chacun d'eux porte à son goulot une étiquette en parchemin où l'on inscrit le numéro de la station, la date, la profondeur et la température *in situ*. Ils sont contenus dans une caisse en bois léger mais solide ayant pour dimensions 40 × 25 × 27 cm, portant à son intérieur, à mi-hauteur, une planchette percée et dont le fond ainsi que le couvercle sont revêtus d'un feutre épais. Le tout, les flacons remplis, pèse un peu moins de 10 kilogrammes ce qui permet d'expédier ces caisses par colis postal. Je m'en suis servi déjà plusieurs fois et leur contenu est toujours arrivé en bon état. C'est pourquoi je n'hésite pas à en recommander l'usage. Ainsi qu'on le verra, 250 g d'eau suffisent pour toutes les expériences et les mesures auxquelles il y a lieu de se livrer sur une eau de mer, dans les conditions ordinaires.

B. — Densité

La densité est évaluée directement, à bord, par une mesure à l'aréomètre ou bien par le pycnomètre, ce qui ne peut s'exécuter que dans le laboratoire, ou bien encore indirectement, par la mesure de la chloruration. Le choix du procédé dépend de considérations générales qu'il est nécessaire d'énoncer.

L'importance des mesures de densités est extrême car elles sont destinées à fournir en quelque sorte la clef de la circulation océanique.

La circulation au sein d'un liquide, étant un mouvement, est un phénomène d'équilibre qui dépend non de propriétés physiques ou chimiques, c'est-à-dire statiques de ce liquide, mais de propriétés dynamiques : son poids à l'unité de volume ou, en d'autres termes, sa densité. Celle-ci est, il est vrai, influencée par des données physiques telles que la température, ou chimiques comme la chloruration ou la salinité, mais elle n'en dépend que secondairement, ces diverses propriétés se réunissant comme en masse, pour donner par leur ensemble l'unique propriété essentielle

[1] H. N. Dickson. *The circulation of the surface waters of the north-atlantic Ocean.* Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A. vol. 196, p. 69.

produisant l'équilibre : la densité en chaque point de l'océan telle qu'elle résulte de toutes les conditions ambiantes régnant en ce point. Il y a de longues années que j'ai soutenu cette thèse dans un grand nombre de publications [1].

Le mouvement général des eaux océaniques, c'est-à-dire la circulation, n'est qu'une application de la loi des vases communiquants. L'eau plus légère se tenant à un niveau plus élevé que l'eau plus lourde, le courant s'établira, aussi bien dans les profondeurs qu'à la surface, de l'eau la plus légère vers l'eau la plus lourde, afin de rétablir éternellement un état d'équilibre éternellement troublé par les mille circonstances de la vie de la terre : l'action des vents, la rotation du globe, l'action des vagues, la profondeur de la mer, la configuration des continents, l'apport d'eau douce par les fleuves ou par les pluies, l'évaporation, la pression barométrique et d'autres encore. Dans cette vie de la planète, il n'est pas un phénomène, quel qu'il soit, dans lequel, si on veut l'y chercher, on ne soit en mesure de trouver la part d'influence de toutes les forces naturelles.

Les densités doivent donc indiquer l'état dynamique actuel du liquide en divers lieux au moment même où il opère les phénomènes dont on cherche à découvrir la loi. Il importe donc de les obtenir dans les conditions actuelles. En d'autres termes, il faut parvenir à connaître le poids de l'unité de volume d'eau à la température *in situ* et, s'il s'agit d'échantillons récoltés dans la profondeur, non seulement à la température *in situ* mais dans les conditions complètes qui faisaient que, sous la pression des couches sus-jacentes, l'unité de volume du liquide contenait plus de matière qu'au moment où on l'a observé à la surface, c'est-à-dire sous la simple pression atmosphérique. En d'autres termes, la valeur exacte de la densité *in situ* comporte une correction de compression.

Des considérations qui précèdent résultent les conclusions suivantes :

1. Jusqu'au moment où l'on aura trouvé un moyen de mesurer directement la densité d'un échantillon d'eau au moyen d'un instrument plongé au sein du liquide à la place même où il agit, comme on est forcé de la mesurer dans des conditions différentes, particulièrement de température et de pression, il est indispensable d'établir expérimentalement les données nécessaires pour appliquer les corrections.

Pour les corrections de température, j'ai dressé un schéma donnant entre les intervalles de température ordinaires, la dilatation des eaux de mer plus ou moins salées. On ne saurait trop appuyer sur ce point si souvent méconnu que l'eau de mer est un liquide complexe non comparable à de l'eau distillée contenant en dissolution un mélange salin de composition uniforme. Il s'agit de passer de la

[1] J. Thoulet. *Observations sur le Gulf-Stream* (C. R. Ac. Sc. T. CV, 862. 1888). — *Sur la mesure de la densité des eaux de mer, considérations générales sur le régime des courants marins qui entourent l'île de Terre-Neuve* (Ann. de Chim. et de Phys. 1888). — *Note sur le poids spécifique et la densité de l'eau de mer.* (Bull. de Géog. historique et descript. du Ministère de l'Instr. publ. IV, 1890). — *Traité d'océanographie (statique)*, p. 352 et suiv. 1890. — *De quelques objections à la théorie de la circulation verticale profonde océanique.* (C. R. Ac. Sc. T. CX, 334, 1890 et Revue gén. des Sc. pures et appl. I. 500, 1899) — etc. etc.

densité S_4^t d'un échantillon, mesurée à une certaine température t, au moment de l'expérience, à la densité S_4^θ qu'aurait et qu'avait ce même échantillon, toutes choses égales d'ailleurs, lorsqu'il possédait la température *in situ* θ. Depuis près de vingt années que je m'occupe de la question, j'ai acquis la conviction facile à démontrer pratiquement, que la méthode par graphique, tout aussi exacte que la méthode par les tables, l'emporte de beaucoup sur elle comme simplicité et rapidité d'opérations et comme absence d'erreurs. On opère avec un graphique cinq ou six fois plus vite et plus sûrement que par la méthode tabulaire [1].

Il faut en outre, pour un échantillon puisé à la profondeur de n mètres, obtenir la valeur n S_4^θ. La correction s'appuie sur la connaissance du coefficient de compressibilité de l'eau de mer. J'ai adopté la formule

$$n\, S_4^\theta = S_4^\theta\, (1 + 0.0000046614\, n)$$

et ai dressé un tableau spécial pour ces corrections [2], mais je ne saurais dissimuler que je n'ai pas une entière confiance dans le coefficient et que la connaissance de la compressibilité exacte de l'eau de mer à diverses profondeurs et dans divers océans semble être une des questions dont l'étude s'impose aux recherches des physiciens océanographes. L'inconvénient est pourtant atténué par ce fait que le coefficient, exact ou inexact, affecte également tous les points de même profondeur, et par suite ne modifie pas leurs relations mutuelles seules prises en considération.

2. La densité des couches superficielles et plus particulièrement de la couche immédiatement superficielle offre, au point de vue de la circulation générale, beaucoup moins d'intérêt que celle des couches profondes. En premier lieu, dans les conditions où on la récolte d'ordinaire le long du bord d'un bâtiment en pleine mer, l'eau est agitée par la présence même du bâtiment dont la marche, si lente quelle soit, produit un mélange sur une profondeur de sept ou huit mètres. L'agitation est augmentée lorsque l'hélice est en mouvement, ce qui a toujours lieu pendant un sondage alors qu'on s'efforce de se maintenir à la même place et de résister au courant afin de conserver la verticalité du fil de sonde. En outre, l'eau immédiatement superficielle est sans cesse en mouvement; sa nature, sa concentration, sa température changent continuellement par l'effet des variations diurnes, nocturnes et saisonnières. L'opération n'aurait un intérêt réel que si elle était exécutée avec d'extrêmes précautions, à bord d'une embarcation calant peu et mouillée, en la répétant pendant un intervalle de temps suffisamment long. Elle fournirait alors d'intéressants documents sur le mouvement des couches superficielles aussi bien en surface qu'en profondeur, aux moments où l'on aurait opéré. Mais, dans ce cas, le problème serait tout autre et ne se rattacherait que de loin à celui de la circulation océanique

[1] J. Thoulet. *Océanographie. Détermination de la densité de l'eau de mer.* Résultats du voyage du *S. Y. Belgica* en 1897-1898-1899. Anvers 1901.

[2] J. Thoulet. *Océanographie (statique)*, p. 361.

générale. Pour ce dernier problème, les prises de densités ont d'autant plus d'importance qu'elles s'appliquent à des échantillons plus profonds et surtout échelonnés aussi près que possible les uns des autres sur une même verticale. On affirmerait volontiers que la connaissance de la densité de dix échantillons, dans les conditions précitées, l'emporte sur celle de milliers d'échantillons superficiels disséminés sur l'étendue entière des océans.

La récolte d'échantillons échelonnés sur une même verticale, si on l'exécute en les prenant un à un, exigerait un temps effroyablement long pour être accomplie en pleine mer. Comme le bâtiment dérive toujours, ils ne seraient certainement pas sur la même verticale mais sur des verticales parallèles. Il faut donc parvenir à recueillir d'un seul coup de sonde beaucoup d'échantillons et, les bouteilles étant suspendues à un très fin câble en fils d'acier, on est amené à diminuer autant que possible leur poids et leur volume afin d'augmenter leur nombre. On est donc conduit à employer, pour mesurer la densité, les procédés exigeant la moindre quantité de liquide[1].

La bouteille Richard sert à recueillir des échantillons d'eau en série verticale. Afin de pouvoir superposer un grand nombre de ces bouteilles sur un même fil de sonde, chacune d'elles ne contient que le volume d'eau indispensable pour en mesurer la densité au pycnomètre et y doser le total des halogènes ainsi que l'ammoniaque libre et albuminoïde, caractéristiques essentielles d'un échantillon d'eau de mer.

Le corps de la bouteille A (Pl. 1, fig. 2 et 3) cube environ 300 cmcb; il est fermé à ses deux extrémités par un robinet et l'ensemble de ces deux robinets C et D est commandé par une tige B le long de laquelle deux curseurs a et b, susceptibles de s'écarter à volonté, maintiennent un thermomètre à renversement. Du côté opposé, la bouteille porte un contrepoids M, qui peut se replier pour faciliter l'emballage et qui, étendu, facilite par son excentricité le renversement du système. A la descente, le tout est maintenu vertical grâce à une hélice Magnaghi à distance de remontée réglable à l'aide des deux chevilles métalliques c et d, et dont la pointe inférieure s'engage dans un trou percé en f.

A la descente, les robinets étant ouverts, l'hélice demeure immobile et l'eau traverse de part en part la bouteille d'un mouvement continu. La profondeur désirée étant atteinte, on remonte le fil de sonde, l'hélice tournant en sens inverse soulève la pointe qui abandonne le trou f et la bouteille chavire autour des deux pivots m et n. A 180° de sa position primitive, elle est fixée par une pointe commandée par la lame z formant ressort. Pendant ce temps, la tige B se renverse, elle aussi, entraînant le thermomètre qui, en se retournant, marque la température ambiante et oblige

[1] Ce désidératum a été réalisé, depuis la rédaction du présent travail, par la nouvelle bouteille imaginée par M. le Dr Richard et dont la description a été donnée dans les Comptes-rendus de l'Académie des Sciences, séance du 9 juin 1902.

le boisseau de chaque robinet à tourner de manière à se fermer. La bouteille revient remplie de l'eau qu'elle contenait au moment où elle a été fermée et, pour récolter celle-ci, il suffit de soulever à la main la tige B.

Les pinces t et t' permettent de fixer l'instrument au fil de sonde.

La bouteille Richard est simple, d'un maniement facile, fonctionne très régulièrement et joint à tous ces mérites celui d'être d'un prix peu élevé.

Les motifs précédents obligent à reléguer au second plan ou à réserver pour les échantillons de surface, l'aréomètre, qui exige environ un litre et demi de liquide et donnent au contraire de l'importance au pycnomètre qui opère avec toutes les garanties d'exactitude sur 30 g environ de liquide. Ce dernier n'est même pas perdu puisque, après l'opération, on peut s'en servir pour les dosages de la chloruration ou des matières organiques.

3. Un autre point à considérer est l'approximation avec laquelle on peut obtenir une densité. Théoriquement, cette valeur résultant du quotient de la division d'un nombre réprésentant un poids par un nombre représentant un volume, est susceptible d'être représentée par autant de chiffres qu'on le voudra, jusqu'à ce que l'on soit amené à poser un zéro à ce quotient. Pratiquement il en est tout autrement. Les chiffres représentant une densité proviennent de mesures faites à l'aide d'instruments en verre ou en métal et, par conséquent, entachées d'erreurs inévitables, de mesures s'échafaudant les unes sur les autres, confondant d'une façon impossible à évaluer dans le résultat final, leurs erreurs individuelles, les erreurs personnelles dues à l'observateur lui-même, les variations non mesurables ou inexactement mesurables, ce qui revient au même, des conditions ambiantes. La pratique seule et la longue pratique permet d'échapper à cette fascination des séries de chiffres si puissante sur certains esprits; il faut en appeler bien plutôt au bon sens qu'à l'arithmétique. Une approximation dépassant 5 unités du 5e ordre dans la mesure d'une densité est impossible à obtenir, quel que soit le procédé ou l'instrument employé. Je mets au défi un observateur, avec les mêmes instruments, se servant des mêmes procédés, en opérant au même point, à quelques heures d'intervalle, si profondément que soit pris l'échantillon afin d'être certain que les différences constatées sont bien expérimentales et ne proviennent pas de l'échantillon même, de trouver des valeurs ayant entre elles des différences inférieures à 5 unités du 5e ordre, soit 5 cent-millièmes. S'il fallait en fournir une preuve, j'indiquerais les chiffres trouvés par M. Buchanan pour les densités qu'il a mesurées pendant la campagne du *CHALLENGER* et dont il a donné le tableau dans les « Reports »[1]. Malgré toute l'habileté de l'éminent physicien, chaque fois qu'un même échantillon a été mesuré avec des instruments différents, bouteille de Baillie ou de Buchanan, thermomètres pourtant

[1] J. Y. Buchanan. *Report on the specific gravity of samples of Ocean Water.* Reports on the scientific Results of the voyage of *H. M. S. CHALLENGER.* Physics and Chemistry, p. 21.

bien étalonnés, les différences des résultats sont notables. J'en donne ici quelques exemples :

Station 324; prof. 2800 fath.	1.02445 1.02433 1.02418 1.02416
Station 325; prof. 2650 fath.	1.02386 1.02363 1.02423
Station 327; prof. 2900 fath.	1.02447 1.02454

Dans ces conditions, un chiffre définitif comportant un trop grand nombre de décimales, fourni par une moyenne arithmétique n'est qu'un trompe-l'œil. Du reste, le Congrès international de Christiania est dans les mêmes idées car il formule sous la forme suivante une de ses décisions. « Pour la détermination de la salinité et de « la densité, on pourra faire usage de méthodes physiques ou chimiques, pourvu que « la salinité soit déterminée avec une exactitude de 0.05 pour 1000 et la densité avec « une exactitude de 0.00004. »

Supposons maintenant qu'on possède, pour une région océanique quelconque, un grand nombre de séries verticales de densités et cherchons de quelle façon on les utilisera pour arriver à des conclusions relativement à l'économie générale de la circulation océanique.

Je ne crains pas d'affirmer que les lois de la circulation apparaîtront à l'œil sur des cartes bathymétriques par isopycnes. Pour les dresser, il suffira de couper l'océan par des séries de plans horizontaux ou, si l'on préfère, parallèles à la surface, passant à des profondeurs déterminées. On portera sur chacun de ces plans, à leur place respective, les densités trouvées se rapportant à cette profondeur, avec leur valeur, et on s'en servira pour tracer les isopycnes. En les considérant comme correspondant à des lignes d'égale altitude terrestre ou isohypses, le courant d'eau se fera toujours des portions hautes, figurées par les isopycnes de cotes basses (faibles densités), vers les vallées représentées par les isopycnes de cotes élevées (densités fortes). Le courant sera d'autant plus rapide que la pente ou le gradient sera plus abrupt. En comparant la série de ces plans au même point géographique, on aura l'épaisseur du courant et les lois apparaîtront d'autant plus nettes que la profondeur plus grande permettra de considérer les valeurs comme d'autant moins dépendantes de causes accessoires. Il ne faut pas oublier, en effet, que la circulation aqueuse continentale à laquelle nous avons, dans de certaines limites, assimilé la circulation océanique, ne se ferme pas sur elle-même puisqu'elle s'achève par l'atmosphère, tandis que la circulation

océanique se rapproche bien davantage d'être un cycle. Je me suis livré à un travail analogue sur les densités recueillies par le *CHALLENGER* dans l'Atlantique sud et, bien que le nombre des mesures soit insuffisant pour formuler des opinions fermes, rien de ce qui a été manifesté par les graphiques que j'ai tracés n'est en désaccord avec le peu que l'on connaît de la circulation océanique superficielle et profonde dans ces parages.

Quand on reporte graphiquement à l'échelle, les densités trouvées sur une même série verticale à diverses profondeurs, on constate que ces densités varient plus ou moins irrégulièrement depuis la surface jusqu'à une certaine profondeur, mais qu'ensuite elles augmentent progressivement jusqu'au fond de sorte que leur courbe figurative est régulière. Le point d'inflexion de cette courbe possède une importance spéciale car si, sur toute une suite de ces sondages en séries verticales, on suppose le plan passant par tous les points d'inflexion, on aura le plan limite séparant la zone superficielle océanique de mouvement, de la zone inférieure de calme.

Mesure des densités[1]. — A l'exception des densités de surface qui ont été mesurées à l'aréomètre, les densités des échantillons profonds, tous récoltés au contact du sol, ont été prises au moyen du pycnomètre d'après la méthode ordinaire. Le pycnomètre (Pl. 1, fig. 4) avait la forme connue; vide, il pesait 35.0428 g et contenait 30.5873 g d'eau distillée à 0°. Cette température si facile à obtenir fixe, a été adoptée pour toutes les expériences. On remplissait d'eau de mer, on laissait dans la glace un temps suffisant pour que le niveau de l'eau jusqu'au repère fût bien établi et on pesait. La valeur de la densité était obtenue en divisant le chiffre de cette dernière pesée par 30.5940, poids d'eau à 4° correspondant, d'après les tables de Despretz au poids 30.5873 d'eau à 0°, sous le même volume. Aucune correction n'était nécessaire, les mesures étant faites dans le même appareil. On obtenait ainsi les valeurs S_4^0. Le graphique permettait de passer de S_4^0 à S_4^θ. Il suffisait pour cela[2] de placer la valeur S_4^0 sur l'ordonnée 0° du graphique entre les deux courbes les plus voisines, l'une en dessus, l'autre en dessous. On repérait les trois points sur une étroite bande de papier et, avec la même bande, on avait la valeur S_4^θ en partageant proportionnellement l'intervalle des deux mêmes courbes suivant l'ordonnée correspondant à la température θ. La table des corrections de compressibilité donnait la valeur n S_4^θ.

[1] Je tiens à adresser ici tous mes remerciements à M. Chevallier, préparateur à la Faculté des Sciences de Nancy, qui a effectué les mesures de densité, les dosages de chloruration et de matières organiques des eaux ainsi que les dosages de l'ammoniaque des fonds. Ces mesures et dosages dont certains ont exigé de longs et pénibles tâtonnements, ont été exécutés avec autant de soin que d'habileté par M. Chevallier.

[2] J. Thoulet. *Océanographie. Détermination de la densité de l'eau de mer.* Résultats du voyage du *S. Y. BELGICA* en 1897-1898-1899. Anvers 1901.

Si l'on range les stations dans l'ordre croissant des profondeurs, on forme le tableau suivant avec les S_4^0 et les S_4^{θ}.

Station	Prof. m	S_4^0	S_4^{θ}	Station	Prof. m	S_4^0	S_4^{θ}
1202	91	1.02868	1.02671	1122	1786	1.02837	1.03648
1233	611	861	3016	1115	2165	829	3822
1185	660	804	3009	1126	2909	820	4193
1137	692	821	3072	1131	2990	812	4220
1113	851	877	3162	1147	3250	819	4335
1117	1098	851	3297	1130	3768	812	4589
1192	1311	812	3384	1149	3890	809	4648
1205	1477	812	3477	1125	3968	789	4682
1234	1500	851	3484	1124	4020	807	4700
1219	1642	814	3545	1226	5430	800	5378
1134	1700	817	3594	1169	6035	797	5665
1246	1737	839	3608				

A l'exception de la Stn. 1185 pour laquelle on constate une légère irrégularité peut-être explicable par la faible profondeur, 660 m, située d'ailleurs en pleine zone de mouvement, à laquelle a été pris l'échantillon, on remarque que la densité n S_4^{θ} augmente toujours avec la profondeur. Les valeurs de la densité à 0°, S_4^0, sauf quelques irrégularités très faibles, semblent au contraire décroître très légèrement avec la profondeur. Il y a donc lieu de penser, et le fait apparaîtra plus nettement encore par l'étude de la chloruration et de la salinité, qu'à partir d'une certaine distance de la surface, l'eau conserve une composition sensiblement identique, quoique diminuant un peu de salure pour compenser l'effet de la diminution de la température. Nous ne possédons que 23 sondages disséminés sur une portion d'océan d'une superficie égale à 20 ou 25 fois celle de la France. Pourrait-on espérer, s'il s'agissait d'une même étendue continentale, avoir autre chose qu'une très vague notion de la géologie ou de l'hypsométrie de la contrée avec un nombre aussi restreint de points examinés? Il serait donc imprudent d'essayer, dès à présent, de chercher une explication d'ensemble quelconque aux résultats de ces sondages; il vaut mieux conserver les données acquises, augmenter leur nombre en choisissant judicieusement les points de sondages futurs, continuer à effectuer les analyses et les mesures de la même façon afin de les laisser comparables à celles faites antérieurement, les marquer à leur place sur une carte et recourir alors aux plans horizontaux par isopycnes.

C. — Chloruration

Conformément aux décisions du Congrès de Stockholm, on appellera chloruration le poids, en grammes, de chlore contenu dans 1000 g de l'eau de mer considérée. Cette résolution est excellente en ce que, ramenant à des poids d'eau de mer et non à des volumes, elle élimine dans la détermination de la chloruration, donnée chimique et statique, toute l'influence et les complications que pourraient exercer des forces telles que la température ou la compressibilité. Elle tend donc à établir la véritable personnalité d'une eau de mer.

La chloruration s'obtient à la suite d'un dosage volumétrique à l'azotate d'argent. M. Knudsen, agissant comme délégué des Congrès de Stockholm et de Christiania, passe du poids de tous les halogènes, déterminé par l'azotate d'argent, au poids du chlore seul, au moyen de tables dressées sous sa direction[1], mais il n'a pas encore donné une connaissance détaillée des procédés analytiques adoptés par lui et qui l'ont guidé dans la confection de ses tables. Il emploie une eau de mer normale et semble considérer toutes les eaux océaniques comme étant des dilutions plus ou moins étendues dans de l'eau distillée, de cette eau de mer normale. La question reste en suspens jusqu'à la publication des travaux de M. Knudsen.

En ces sortes de recherches, il importe de bien s'entendre sur la façon de procéder afin de rendre comparables les chiffres des divers observateurs; nous adopterons donc de confiance les valeurs des Tables hydrographiques. D'ailleurs nos analyses sont parfaitement d'accord avec celles de M. Knudsen quant au dosage type. Celui-ci a bien voulu adresser à Nancy un échantillon d'eau de mer normale analysé par lui, et notre propre détermination du total des halogènes s'est trouvée rigoureusement conforme à la sienne. Nous joindrons néanmoins aux valeurs calculées d'après ces tables, une colonne contenant les résultats bruts obtenus avec les eaux essayées traitées par la solution d'azotate d'argent.

Le dosage s'effectue de la façon suivante :

On prépare une solution d'azotate d'argent contenant 47.936 g d'azotate d'argent par litre d'eau distillée à 15°, de manière à ce que 1 cmcb de cette solution sature exactement 0.01 g de chlore[2]. On opère sur 10 cmcb environ d'eau de mer qu'on place dans un petit flacon de verre mince à large goulot, bouché à l'émeri et qu'on pèse au 0.0001 g successivement vide et rempli. On verse dans un verre de Bohême, on

[1] *Hydrographische Tabellen* herausgegeben von Martin Knudsen. Kopenhagen. G. E. C. Gad — Hamburg. L. Friederichsen und C°. 1901.

[2] Equivalent Ag = 107.66
Az = 14.01
3 O = 47.88
$AgAzO^3$ = 169.55
Equiv. Cl = 35.57

$$\frac{169.55}{35.57} = 47.936$$

rince le flacon à l'eau distillée, on ajoute quelques gouttes d'une solution de chromate jaune de potasse pour servir de réactif indicateur, on laisse tomber goutte à goutte la solution titrée d'azotate d'argent jusqu'à formation du précipité rouge de chromate d'argent. Il importe d'agiter vivement le liquide avec un agitateur en verre afin de briser les grumeaux qui se forment et emprisonnent une certaine quantité de liqueur-mère. Cette précaution évite des erreurs notables dans les résultats. Enfin on ramène par un calcul à 1000 g d'eau de mer.

M. Knudsen dose la chloruration par une liqueur titrée d'azotate d'argent comme il vient d'être dit. Il retranche du poids total des halogènes ainsi trouvé, un nombre *k* qui dépend précisément de ce poids. Le résultat de cette soustraction, pour les échantillons de la *PRINCESSE-ALICE* est indiqué dans la colonne IV du tableau suivant où les stations sont rangées dans l'ordre des profondeurs croissantes. D'autre part il a dressé une table donnant immédiatement la chloruration en fonction de la densité à 0°, obtenue elle-même sur une table spéciale en fonction de la densité S_4^t à la température t de la mesure. Ces valeurs sont inscrites dans la colonne V du tableau. Les différences entre les valeurs inscrites dans les colonnes IV et V sont indiquées dans la colonne VI. [1]

STATION	PROF. m	HALOGÈNES par titr. dir.	CHLORUR. d'ap. la titr. dir. (Knudsen)	CHLORUR. d'ap. la densité à 0° (Knudsen)	DIFFÉRENCE	STATION	PROF. m	HALOGÈNES par titr. dir.	CHLORUR. d'ap. la titr. dir. (Knudsen)	CHLORUR. d'ap. la densité à 0° (Knudsen)	DIFFÉRENCE
1202	91	19.89	19.74	19.76	— 0.02	1122	1786	19.75	19.61	19.54	+ 0.07
1233	611	19.82	19.68	19.71	— 3	1115	2165	19.60	19.46	19.49	— 3
1185	660	19.46	19.33	19.32	+ 1	1126	2909	19.52	19.38	19.42	— 4
1137	692	19.62	19.48	19.43	+ 5	1131	2990	19.53	19 39	19.37	+ 2
1113	851	19.98	19.83	19.82	+ 1	1147	3250	19.57	19.43	19.42	+ 1
1117	1098	19.71	19.57	19.64	— 7	1130	3768	19.50	19.36	19.37	— 1
1192	1311	19.53	19.39	19.37	+ 2	1149	3890	19.49	19.35	19.35	0
1205	1477	19.54	19.40	19.37	+ 3	1125	3968	19.36	19.23	19.21	+ 2
1234	1500	19.77	19.63	19.64	— 1	1124	4020	19.50	19.36	19.34	+ 2
1219	1642	19.59	19.45	19.38	+ 7	1226	5430	19.46	19.33	19.29	+ 4
1134	1700	19.53	19.39	19.40	— 1	1169	6035	19.41	10.28	19.27	+ 1
1246	1737	19.77	19.63	19.56	+ 7						

[1] M. Chevalier fait à ce propos l'observation suivante :

« La moyenne des différences pour les 23 observations d'eaux de mer profondes, n'est que de + 0.01, ce « qui indiquerait une précision moyenne satisfaisante puisque le Congrès de Stockholm a admis que la salinité « était mesurée avec une approximation de 0.05 pour 1000, valeur correspondant, pour la chloruration, à une « approximation de 0.03. Les plus grandes différences sont — 0.07 et + 0.07. Ces écarts ne confirmeraient-ils « pas l'hypothèse que les eaux de même densité ne contiennent pas toujours la même quantité de chlore ou, en « d'autres termes, ne possèdent pas exactement la même composition chimique? S'il en était ainsi, il serait « beaucoup plus simple et plus sûr de s'en tenir à la densité mesurée directement au pycnomètre à 0° ou, à « l'aréomètre, la densité S_4^t ou S_4^0 et de ramener ensuite celle-ci à S_4^0 au moyen du graphique. »

Les échantillons d'eaux de surface n'ayant pas été conservés, on n'a pu doser leur chloruration. Dans un but de généralisation et en tenant compte des restrictions énoncées précédemment, on a inscrit dans le tableau final les chlorurations et les densités de ces eaux. Pour les obtenir, on est passé de la densité S_4^t à la densité S_4^0 au moyen du graphique et de celle-ci, à l'aide des *Hydrographische Tabellen*, aux valeurs de la chloruration et de la salinité.

On ne saurait pas plus que pour les densités, tirer une conclusion des chiffres trouvés pour la chloruration et pour la salinité dont nous allons bientôt nous occuper. D'ailleurs ces valeurs sont à peu près solidaires les unes des autres. Les chlorurations et les salinités diminuent à mesure que la profondeur augmente. A la surface, elles possèdent une valeur notablement plus forte, dépassant 20 pour la chloruration, comme si la chaleur jouait dans l'équilibre des masses liquides de l'océan un rôle prépondérant et l'emportant même sur celui de l'évaporation. Lorsque les données expérimentales seront plus nombreuses, on pourra essayer de les grouper et d'en conclure des lois générales.

D. — Salinité

La salinité ou le poids en grammes du total des sels contenus dans 1000 g de l'échantillon, a été calculée d'après les *Hydrographische Tabellen* en partant de la densité à 0°, S_4^0. Les valeurs trouvées sont inscrites dans le tableau général. Les mêmes considérations sont applicables à la salinité et à la chloruration.

E. — Matières organiques dosées par le permanganate de potasse

Les traités d'analyse chimique recommandent pour le dosage des matières organiques contenues dans les eaux naturelles, la méthode de Schulze-Tromsdorff, qui consiste à faire agir le permanganate de potasse en solution alcaline. Natterer a employé le procédé pour l'eau de mer[1]. Mais en opérant en solution alcaline, il se produit toujours une coloration jaune qui augmente d'intensité à mesure que l'on ajoute la solution de permanganate et masque l'apparition de la légère teinte rose indiquant la fin de la réaction. Cet inconvénient ne se présente pas et le virage de la couleur est parfaitement net lorsqu'on opère en liqueur acide. La méthode a donc été modifiée de la manière suivante :

On prépare

1. Une solution renfermant exactement 0.3163 g de permanganate de potasse par litre;

[1] Natterer. *Chemische Untersuchungen im östlichen Mittelmeer.* I. Reise S. M. Schiffes *POLA* im Jahre 1890. p. 87.

2. Une solution contenant environ 0.63 g d'acide oxalique par litre. Cette solution n'a pas besoin d'être exactement titrée; il suffit d'en employer toujours le même volume.

3. Une solution d'acide sulfurique étendu obtenue en mélangeant 3 vol. d'eau distillée et 1 vol. d'acide concentré et pur.

On fait bouillir dans un ballon de 200 cmcb environ, 25 cmcb d'eau distillée avec 5 cmcb de la solution de permanganate et on prolonge l'ébullition exactement pendant 10 minutes. On plonge ensuite le ballon dans de l'eau froide et quand la température n'est plus que d'une trentaine de degrés, on ajoute 10 cmcb de la solution d'acide oxalique. Le liquide se décolore complètement. On le ramène à une légère teinte rose persistante au moyen de la liqueur titrée de permanganate. Cette première opération faite sur de l'eau distillée ne contenant point de matières organiques a pour but de se renseigner sur le volume de permanganate nécessaire pour amener la coloration rose persistante, volume variant quelque peu avec chaque opérateur.

On répète l'expérience en opérant absolument de la même façon sur 25 cmcb de l'eau de mer à analyser. Pour produire la coloration rose il faut maintenant un certain volume de liqueur titrée de permanganate. Le volume, diminué de celui employé dans l'opération préliminaire avec de l'eau distillée, représente la quantité de permanganate nécessaire pour oxyder la matière organique contenue dans les 25 cmcb d'eau de mer.

1 cmcb de la solution de permanganate contient 0.0003163 g de permanganate ou 0.00008 d'oxygène. On représentera les résultats en grammes d'oxygène par litre d'eau de mer.

On voit sur le tableau que la quantité de matière organique de l'eau de mer est presque constante; elle est un peu plus forte à la surface et elle diminue lentement pour devenir constante à partir de 700 m environ.

Le permanganate est un sel capricieux auquel on ne saurait avoir une confiance absolue, mais l'analyse des échantillons ayant été faite dans des conditions identiques, les résultats obtenus sont à tout le moins comparables entre eux.

Station	Prof. m	O. en g. par litre	Station	Prof. m	O. en g. par litre	Station	Prof. m	O. en g. par litre
1202	91	0.0298	1234	1500	0.0292	1147	3250	0.0292
1233	611	0.0295	1219	1642	0.0292	1130	3768	0.0292
1185	660	0.0293	1134	1700	0.0292	1149	3890	0.0292
1137	692	0.0292	1246	1737	0.0292	1125	3968	0.0292
1113	851	0.0292	1122	1786	0.0292	1124	4020	0.0292
1117	1098	0.0292	1115	2165	0.0292	1226	5430	0.0292
1192	1311	0.0292	1126	2909	0.0292	1169	6035	0.0292
1205	1477	0.0292	1131	2990	0.0292			

F. — Dosage de l'Ammoniaque

L'ammoniaque a été dosée sous ses deux états d'ammoniaque libre et d'ammoniaque dite albuminoïde, c'est-à-dire, se dégageant de certaines matières organiques traitées par le permanganate de potasse en solution alcaline.

Le procédé employé a été celui dont s'était déjà servi Natterer[1] pour les échantillons d'eaux recueillis à bord de la *Pola*.

Pour doser l'ammoniaque libre (Pl. II, fig. 6), on introduit dans un ballon 60 cmcb d'eau de mer avec 0.5 g de magnésie récemment calcinée; on distille au quart en faisant passer la vapeur dans un réfrigérant de Liebig, c'est à dire de manière à recueillir 15 cmcb de liquide, qu'on mesure dans une éprouvette graduée. On traite par 0.75 cmcb de réactif de Nessler et on compare la teinte jaune obtenue à celle d'une série de tubes préparés à l'avance et contenant un même volume de liquide renfermant des quantités régulièrement croissantes d'ammoniaque traitées par le même volume de réactif de Nessler.

La série de ces tubes se prépare de la manière suivante. On dissout 3.15 g de chlorhydrate d'ammoniaque dans 1 litre d'eau distillée; 10 cmcb de cette solution sont étendus au volume de 1 litre, de telle sorte que la nouvelle solution renferme par centimètre cube 0.00001 g ou 0.013 cmcb d'ammoniaque à 0° et à la pression de 760 mm.

Dans dix tubes identiques entre eux et à celui qui servira à l'expérience — ceux que j'emploie cubent un peu plus de 15 cmcb — on verse respectivement 0.033, 0.66, 1.00, 1.33,... cmcb de la liqueur de chlorhydrate d'ammoniaque et 0.75 cmcb de réactif de Nessler; on étend d'eau distillée à 15 cmcb. Chacun d'eux, d'autant plus coloré qu'il contiendra une plus grande quantité d'ammoniaque, constituera un degré de l'échelle de coloration. Quoique bouchés à l'émeri et conservés autant que possible dans l'obscurité, ils laissent déposer au bout d'une semaine environ, des cristaux rouges d'iodure de mercure. L'effet est d'autant plus marqué que l'ammoniaque est en moindre quantité. Ils ne peuvent alors plus servir. On les lave et on renouvelle leur contenu.

La comparaison des teintes se fait dans un tube identique rempli d'une même quantité de liquide. On le tient accolé à un tube type et on le regarde débouché, de haut en bas, verticalement, à travers la grande épaisseur du liquide et sur un fond blanc, papier ou porcelaine, bien éclairé. On admet que toute l'ammoniaque libre de l'échantillon d'eau de mer a passé dans le premier quart résultant de la distillation.

Pour préparer le réactif de Nessler (solution alcaline d'iodure de mercure et d'iodure de potassium), on fait bouillir 3.5 g d'iodure de potassium et 1.3 g de bichlorure de mercure dans 80 à 90 cmcb d'eau. On ajoute goutte à goutte à la solution limpide et refroidie, une solution saturée à froid de bichlorure de mercure jusqu'à

[1] Natterer. *loc. cit.*

formation d'un précipité permanent. On ajoute alors 16 g de potasse caustique pure; on amène le volume à 100 cmcb avec de l'eau distillée; on ajoute encore quelques gouttes de la solution saturée de bichlorure, on agite et on laisse déposer pendant 48 heures. On filtre sur un tampon d'amiante et on conserve dans un flacon en verre jaune, bouché à l'émeri et, autant que possible, dans l'obscurité.

Le dosage de l'ammoniaque albuminoïde s'effectue de la manière suivante :

Au reste du liquide ayant subi la distillation dans l'opération précédente, on ajoute 7.5 cmcb d'une solution alcaline de permanganate de potasse (100 g de potasse et 4 g de permanganate dissous dans 500 cmcb d'eau distillée; on fait bouillir un quart d'heure et on complète à 500 cmcb par addition d'eau distillée). On distille le mélange jusqu'à ce que 15 cmcb aient été recueillis. C'est sur ces 15 cmcb qu'on évalue comme précédemment, la quantité d'ammoniaque, en opérant avec le réactif de Nessler absolument comme il a été dit.

Le tableau suivant indique en milligrammes, par litre, le poids d'ammoniaque libre et albuminoïde contenu dans les échantillons d'eau de mer rangés par ordre de profondeurs croissantes.

Station	Prof. m	Az H^3 libre	Az H^3 albuminoïde	Station	Prof. m	Az H^3 libre	Az H^3 albuminoïde
1202	91	0.31	0.19	1122	1786	0.19	0.13
1233	611	0.46	0.13	1115	2165	0.31	0.13
1185	660	0.38	0.15	1126	2909	0.21	0.13
1137	692	0.11	0.15	1131	2990	0.08	0.13
1113	851	0.33	0.15	1147	3250	0.19	0.13
1117	1098	0.38	0.15	1130	3768	0.25	0.13
1192	1311	0.17	0.11	1149	3890	0.08	0.13
1205	1477	0.23	0.13	1125	3968	0.25	0.13
1234	1500	0.27	0.13	1124	4020	0.25	0.13
1219	1642	0.17	0.13	1226	5430	0.23	0.13
1134	1700	0.27	0.11	1169	6035	0.21	0.13
1246	1737	0.25	0.13				

L'examen du tableau montre l'irrégularité de la distribution de l'ammoniaque libre au sein des eaux marines, plus abondante, en général, dans les mille premiers mètres à partir de la surface que plus bas. En revanche, l'ammoniaque albuminoïde un peu plus abondante, elle aussi, dans les couches supérieures, se maintient ensuite en proportion constante. Si l'on compare ces résultats avec ceux obtenus en dosant la matière organique par le permanganate, on constate leur parfaite concordance, de sorte que l'on serait fondé à admettre, dans la presque totalité de l'épaisseur des eaux océaniques, l'identité de proportion entre la matière organique brûlée par le permanganate et la matière azotée transformable en ammoniaque.

TABLEAU GÉNÉRAL

Station	Date	Latitude N.	Longitude W.	Profondeur m.	θ *in situ*	t pendant la mesure	S_4^t	S_4^0	n S_4^0	Poids Total des halogènes dans 1000 g. (titr. directe)	Chloruration en g. de Cl. dans 1000 g. (Knudsen)	Salinité en g. de sels dans 1000 g. (Knudsen)	Mat. Org. (permanganate) O en g. par litre	Az H^3 libre mmg. par litre	Az H^3 album. mmg. par litre
1111	9 juillet	35° 39' 30"	8° 22' 20"	surf.	21.1	22.6	1.02505	1.02548	1.02548	»	20.11	36.33	»	»	»
id.	id.	id.	id.	50	15.8	22.3	516	686	2711	»	20.14	36.38	»	»	»
1113	10 juillet	33° 59' 30"	10° 33'	surf.	21.7	22.4	532	553	2553	»	20.26	36.60	»	»	»
id.	id.	id.	id.	851	10.2	0	877	755	3162	19.98	19.82	35.81	0.0292	0.33	0.15
1115	11 juillet	31° 43' 30"	13° 07'	surf.	20.1	21.5	538	577	2577	»	20.11	36.32	»	»	»
id.	id.	id.	id.	2165	4.7	0	829	786	3822	19.60	19.49	35.21	0.0292	0.31	0.13
1117	12 juillet	29° 06' 30"	15° 43'	surf.	20.5	23.8	532	626	2626	»	20.54	37.10	»	»	»
id.	id.	id.	id.	1098	7.7	0	851	770	3297	19.71	19.64	35.48	0.0292	0.38	0.15
1122	15 juillet	27° 41'	20° 14' 30"	surf.	21.4	24.8	466	567	2567	»	20.34	36.74	»	»	»
id.	id.	id.	id.	1786	5.2	0	837	793	3648	19.75	19.54	35.30	0.0292	0.19	0.13
1124	16 juillet	25° 50'	22° 31'	surf.	22.0	24.8	496	580	2580	»	20.50	37.02	»	»	»
id.	id.	id.	id.	4020	3.8	0	807	775	4700	19.50	19.34	34.94	0.0292	0.25	0.13
1125	id.	25° 55'	22° 32'	surf.	21.8	24.7	492	609	2609	»	20.45	36.94	»	»	»
id.	id.	id.	id.	3968	3.8?	0	789	782	4682	19.36	19.21	34.70	0.0292	0.25	0.13
1126	id.	25° 45'	22° 31'	surf.	22.5	22.8	559	567	2567	»	20.57	37.15	»	»	»
id.	id.	id.	id.	2909	3.2	0	820	794	4193	19.46	19.42	35.08	0.0292	0.23	0.13
1129	17 juillet	25° 41'	22° 41'	surf.	22.1	23.5	542	584	2584	»	20.55	37.11	»	»	»
1130	id.	25° 41'	22° 34'	surf.	22.2	23.3	545	577	2577	»	20.53	37.08	»	»	»
id.	id.	id.	id.	3768	5.6	0	812	784	4589	19.50	19.37	34.99	0.0292	0.25	0.13
1131	id.	25° 45'	22° 30'	surf.	22.1	26.1	455	675	2675	»	20.50	37.03	»	»	»
id.	id.	id.	id.	2990	3.0	0	812	787	4220	19.53	19.37	34.99	0.0292	0.08	0.13
1134	20 juillet	17° 14'	27° 21' 15"	surf.	24.2	25.9	406	458	2458	»	20.11	36.33	»	»	»
id.	id.	id.	id.	1700	4.1	0	817	780	3594	19.53	19.40	35.05	0.0292	0.27	0.13
1137	21 juillet	16° 44'	27° 08' 20"	surf.	23.7	26.2	400	477	2477	»	20.14	36.38	»	»	»
id.	id.	id.	id.	692	7.7	0	821	740	3072	19.62	19.43	35.10	0.0292	0.11	0.15

Station	Date	Latitude N.	Longitude W.	Profondeur m.	θ *in situ*	t pendant la mesure	S_4^0	S_4^0	n S_4^0	Poids Total des halogènes dans 1000 g. (titr. directe)	Chloruration en g. de Cl. dans 1000 g. (Knudsen)	Salinité en g. de sels dans 1000 g. (Knudsen)	Mat. Org. (permanganate) O en g. par litre	Az H^3 libre mmg. par litre	Az H^3 album. mmg. par litre
1147	24 juillet	16° 24'	26° 54'	surf.	24.9	28.5	1.02329	1.02445	1.02445	»	20.17	36.43	»	»	»
id.	id.	id.	id.	3250	4.5	0	819	778	4335	19.57	19.42	35.08	0.0292	0.19	0.13
1149	25 juillet	16° 12'	27° 04'	surf.	25.0	26.3	395	436	2436	»	20.14	36.38	»	»	»
id.	id.	id.	id.	3890	3.0	0	809	785	4648	19.49	19.35	34.96	0.0292	0.08	0.13
1169	5 août	12° 05'	35° 51' 30"	surf.	27.4	28.6	330	369	2369	»	20.20	36.49	»	»	»
id.	id.	id.	id.	6035	2.9	0	797	774	5665	19.41	19.27	35.81	0.0292	0.21	0.13
1185	14 août	15° 15'	25° 24' 20"	surf.	26.2	28.7	330	411	2411	»	20.22	36.53	»	»	»
id.	id.	id.	id.	660	9.8	0	804	693	3009	19.46	19.32	34.90	0.0293	0.38	0.15
1192	15 août	15° 17' 50"	25° 22' 45"	surf.	26.7	28.0	331	373	2373	»	20.06	36.24	»	»	»
id.	id.	id.	id.	1311	5.8	0	812	756	3384	19.53	19.37	34.99	0.0292	0.17	0.11
1202	18 août	15° 54'	25° 15' 30"	surf.	26.3	29.6	287	396	2396	»	20.14	36.38	»	»	»
id.	id.	id.	id.	91	16.1	0	868	628	2671	19.89	19.76	35.70	0.0298	0.31	0.19
1205	id.	16°34'	25° 23' 30"	surf.	26.8	29.5	287	379	2379	»	20.12	36.35	»	»	»
id.	id.	id.	id.	1477	4.7	0	812	770	3477	19.54	19.37	34.99	0.0292	0.23	0.13
1219	24 août	16° 54' 30"	27° 42'	surf.	26.4	22.4	506	386	2386	»	20.08	36.27	»	»	»
id.	id.	id.	id.	1642	5.9	0	814	759	3545	19.59	19.38	35.01	0.0292	0.17	0.13
1226	5 sept.	30° 50'	27° 27'	surf.	22.9	21.8	562	530	2530	»	20.35	36.76	»	»	»
id.	id.	id.	id.	5430	2.8	0	800	777	5378	19.46	19.29	34.85	0.0292	0.21	0.13
1233	8 sept.	32° 36' 30"	19° 25'	surf.	22.5	21.8	557	536	2536	»	20.30	36.67	»	»	»
id.	id.	id.	id.	611	11.2	0	861	723	3016	19.82	19.71	35.61	0.0295	0.46	0.13
1234	id.	32° 34' 20"	19° 23' 40"	surf.	22.5	21.8	557	536	2536	»	20.30	36.67	»	»	»
id.	id.	id.	id.	1500	8.1	0	851	766	3484	19.77	19.64	35.48	0.0292	0.27	0.11
1246	12 sept.	36° 03'	10° 26'	surf.	20.8	22.6	510	562	2562	»	20.15	36.40	»	»	»
id.	id.	id.	id.	1737	6.5	0	839	776	3608	19.77	19.56	35.34	0.0292	0.25	0.13

II. — ÉCHANTILLONS DE FONDS

J'exposerai séparément, dans chacun des chapitres suivants, le détail des études auxquelles les fonds marins ont donné lieu.

A. Classification rapide des fonds marins.
B. Densité.
C. Hygrométricité.
D. Analyse mécanique.
E. Analyse microscopique.
F. Dosage de l'ammoniaque.
G. Tableaux.
E. Conclusions générales et résumé.

A. — Classification rapide des fonds marins

En suivant à bord de la *Princesse-Alice* les opérations de récolte des échantillons de fonds au moyen du tube sondeur Buchanan qui découpe, comme à l'emporte-pièce, dans le sol immergé, un échantillon cylindrique ou boudin d'une trentaine de centimètres de longueur [1], j'ai été frappé de l'avantage qu'il y aurait, au moment même où l'échantillon est recueilli et sans attendre l'analyse détaillée exacte, longue et difficile sinon impossible à appliquer à bord d'un navire, à obtenir d'une façon approchée une notion de la constitution du fond, suffisante pour permettre d'attribuer immédiatement à celui-ci son nom de vase, de vase sableuse ou de sable vaseux. Il suffirait que la dénomination eût une probabilité d'exactitude suffisante pour être immédiatement inscrite dans le registre des opérations.

J'ai employé dans ce but un petit appareil très simple dont se servent les chimistes, les physiologistes et les ingénieurs, pour certains dosages rapides et dont M. Bouquet de la Grye a autrefois [2] conseillé l'usage, sous le nom de pélomètre, pour l'évaluation approximative de la quantité de vase en suspension dans les eaux.

L'appareil (Pl. II, fig. 5) consiste en un tube ouvert à ses deux extrémités, long de 230 mm avec un diamètre de 15 mm, dont une extrémité est coupée droite tandis que l'autre, conique, est munie d'une ouverture de 4 mm de diamètre environ. Chaque extrémité porte un trait circulaire horizontal servant de repère. Perpendiculairement à cette circonférence, c'est-à-dire suivant une génératrice du cylindre, du côté de

[1] Depuis la rédaction du présent travail le tube emporte-pièce a été allongé à bord de la *Princesse-Alice*. L'échantillon récolté est plus volumineux et on est mieux renseigné sur la nature du sol sous-marin et les changements qu'il est susceptible d'éprouver dans sa constitution sur une épaisseur plus grande.

[2] Bouquet de la Grye. Association Scient. de France, 18 nov. 1877.

l'extrémité large, est gravée sur 5 cm de hauteur, une division en millimètres. Un bouchon percé, susceptible de glisser extérieurement le long du tube, porte une double ficelle à l'aide de laquelle on suspend l'appareil de façon à ce que l'une ou l'autre des extrémités soit à volonté tournée vers le bas.

Un bouchon bien ajusté est enfoncé dans le tube jusqu'à ce que sa base plane coïncide exactement avec le trait circulaire; l'autre base porte un anneau auquel on accroche par un crochet, un poids destiné à assurer une parfaite verticalité au tube lorsqu'il est maintenu la pointe en haut. L'extrémité conique, au lieu d'avoir des divisions d'égale longueur, est graduée à partir du trait repère en volumes correspondant à la capacité de 1 cm de la portion cylindrique. On remplit de mercure 1 cm de hauteur de la portion cylindrique, on enfonce un petit bouchon jusqu'au repère, on retourne le tube et on marque par un trait le nouvel affleurement du métal. On recommence l'opération de deux en deux, pour les millimètres composant le centimètre.

On introduit dans le tube dont la petite ouverture a été bouchée, 4 ou 5 g du fond; on achève de remplir avec de l'eau; on enfonce le gros bouchon jusqu'à ce qu'il coïncide exactement avec le trait repère, on pousse le bouchon de suspension du côté de l'extrémité pointue, on agite vivement, on suspend à une potence, on adapte le poids destiné à assurer la parfaite verticalité, on laisse déposer et on mesure le rapport entre les hauteurs respectives du sable et de la vase.

Une série d'expériences ont été instituées afin de reconnaître le meilleur liquide à employer, le mode de tassement et les proportions relatives de chaque portion du sédiment constituant les catégories adoptées pour la classification et la dénomination précises des fonds [1]. Elles consistaient à analyser au tube, des fonds qui avaient été déjà l'objet d'une analyse complète aux tamis et à comparer les résultats obtenus. On a examiné ainsi 21 échantillons.

Les trois liquides employés ont été l'eau de mer, l'eau douce et une dissolution de sel marin dans l'eau douce ayant la densité moyenne 1.0256 de l'eau de mer et destinée à remplacer celle-ci quelquefois difficile à se procurer dans un laboratoire situé loin de l'océan.

Avec l'eau de mer véritable, le dépôt se fait convenablement; avec l'eau douce, il s'effectue assez bien mais très lentement surtout lorsque le fond a été préalablement dessalé par un lavage. L'argile, quand elle est abondante, reste quelquefois plusieurs jours en suspension. La lenteur de la déposition est un grave inconvénient de l'emploi de l'eau douce.

Avec l'eau salée artificielle, la séparation des sédiments est moins longue qu'avec l'eau douce et plus longue qu'avec l'eau de mer véritable mais elle est moins nette qu'avec l'un et l'autre de ces liquides.

[1] J. Thoulet, *Etude de fonds marins provenant du voisinage des Açores et de la portion orientale de l'Atlantique nord*. Résultats des campagnes scientifiques accomplies sur son yacht par Albert Ier, Prince Souverain de Monaco, fasc. XIX. 1901.

En outre, on a constaté que des fonds marins desséchés et conservés depuis un certain temps se séparent beaucoup moins bien, même dans l'eau de mer véritable et après avoir été laissés longtemps en contact avec l'eau, que des fonds étudiés immédiatement après leur récolte. On dirait que de même que pour les roches géologiques, l'échantillon possède, lui aussi, une eau de carrière dont la dessication modifie l'état et qu'il lui est impossible de reprendre ensuite.

En résumé, le procédé n'est pas à conseiller pour une analyse de fonds conservés; il n'y a lieu de l'employer qu'avec de l'eau de mer et au moment où l'échantillon vient d'être récolté.

Après avoir mis le fond en suspension dans l'eau en l'agitant violemment, on laissera déposer. L'expérience montre que tout ce qui est tombé en 1 minute comptée exactement sur une montre à trotteuse, peut être dénommé sable. Au bout de 1 minute, on notera la hauteur du sédiment S. On attendra alors 29 autres minutes, soit 30 minutes ou une demi-heure après le début de l'opération et on notera de nouveau la hauteur totale T. On divise les chiffres obtenus l'un par l'autre. La portion tombée entre la fin de la première minute jusqu'à la fin de la trentième est appelée vase.

On nommera alors les sédiments de la manière suivante.

Sable. — La hauteur de vase est nulle, ou au plus, égale au tiers de la hauteur totale. $\frac{S}{T} = \frac{1}{1} = 1$ ou $\frac{2}{3} = 0.66$.

Sable vaseux. — La hauteur de vase est plus grande que le tiers et moindre que la moitié de la hauteur totale, $\frac{S}{T}$ est compris entre $\frac{2}{3} = 0.66$ et $\frac{1}{2} = 0.50$.

Vase sableuse. — La hauteur de la vase est comprise entre la moitié et les $\frac{3}{4}$ de la hauteur totale; $\frac{S}{T}$ est compris entre $\frac{1}{2} = 0.50$ et $\frac{1}{4} = 0.25$.

Vase. — La hauteur de la vase dépasse les $\frac{3}{4}$ de la hauteur totale; $\frac{S}{T}$ est inférieur à 0.25.

$$\left.\frac{S}{T} = \frac{1}{1} = 1\right\} \text{Sable}$$
$$\left.\frac{S}{T} = \frac{2}{3} = 0.66\right\} \text{Sable vaseux}$$
$$\left.\frac{S}{T} = \frac{1}{2} = 0.50\right\} \text{Vase sableuse}$$
$$\left.\frac{S}{T} = \frac{1}{4} = 0.25\right\} \text{Vase}$$

S'il existe du fin-fin, rien n'empêche d'en évaluer la proportion mais cette évaluation est très douteuse car en admettant que l'isolement des grains se soit produit nettement, le tassement s'est beaucoup modifié pendant l'intervalle de temps compris entre la fin de la première minute et la fin de la trentième, au moment où l'on mesure la hauteur de la vase.

On pourra noter la nature du sable ou la présence de foraminifères en examinant le dépôt à la loupe à travers le verre.

Lorsque la ligne de séparation entre le sable et la vase n'est pas bien nette du côté de la large ouverture du tube, on a avantage, après avoir mesuré la hauteur totale après repos d'une demi-heure, à agiter de nouveau très fortement, à suspendre le tube la pointe en bas après avoir amené le petit bouchon en coïncidence avec le trait repère et à mesurer de nouveau après exactement une minute de repos, la nouvelle limite du sable qui apparaîtra alors beaucoup plus nettement.

Il arrive aussi que lorsque les fonds sont très argileux, ils forment des grumeaux qui tombent immédiatement; on s'en débarrasse en secouant un peu plus longtemps et plus vivement ou même, s'il était absolument nécessaire, en délayant le fond avec la pulpe du doigt dans une petite capsule et en versant ensuite dans le tube.

Enfin lorsqu'il s'agit d'examiner au microscope les diverses parties d'un fond par fractionnements, on le met en suspension dans l'eau, on le laisse déposer dans le tube la pointe en bas et on transporte dans une goutte d'eau placée sur une lame de verre des échantillons successifs des diverses tranches de sédiment superposées. Parfois aussi, je me suis servi, dans ce but, d'un simple tube de verre effilé, long de 7 ou 8 cm et muni d'une poire en caoutchouc comme les compte-gouttes. On peut ainsi étudier quelques milligrammes à peine de matière déposés au fond d'un verre d'eau et qu'on aspire avec la poire.

B. — Densité des fonds

La densité apparente d'un fond est le poids de l'unité de volume de cet échantillon plus ou moins pulvérulent tassé à refus dans l'air. Pour la mesurer, on emploie un flacon pycnomètre spécial portant deux traits de repère et préalablement jaugé. Son poids est d'environ 9.35 g vide et 14.40 g plein d'eau. On tasse à refus l'échantillon pulvérisé jusqu'au repère inférieur en le frappant à petits coups sur une table et on pèse. On porte ensuite sous la cloche pneumatique, on ajoute de l'eau goutte à goutte dans le vide, la poudre se gonfle toujours un peu et c'est pourquoi, lorsque le flacon est rempli, on place dans la glace et on produit l'affleurement jusqu'au repère supérieur. On obtient ainsi la densité réelle ou absolue. Il est prudent d'ôter un peu de matière solide, de peser de nouveau et de produire ensuite l'affleurement dans la glace.

Le chiffre de la densité apparente est médiocrement précis. Il dépend de la façon dont on a pulvérisé le corps; il dépend aussi du tassement qui varie dans d'assez larges limites. Il est rare qu'on constate une concordance satisfaisante entre les résultats de deux opérations successives faites sur le même échantillon.

Lorsque je ne désire mesurer que la densité réelle, j'emploie un flacon plus grand, à fond plat (Pl. 1, Fig. 4) pesant, vide, environ 30 g et contenant environ 37 cmcb d'eau.

Le remplissage du flacon et, après l'opération, son vidage exigent un temps

considérable. Si le tube étroit est relativement large, le remplissage est plus rapide mais l'affleurement moins précis; s'il est réellement étroit, l'affleurement est meilleur mais le remplissage, le vidage et le nettoyage sont interminables.

La prise d'une densité réelle comporte les opérations suivantes :

1. Remplissage du flacon. Comme on n'a pas besoin de produire un affleurement exact ni un parfait tassement, l'opération est moins longue que dans le cas d'une mesure de densité relative. Elle exige cependant un certain temps.

2. Pesée de la matière.

3. Introduction de l'eau dans le flacon et expulsion des bulles d'air.

L'opération s'exécute sous une cloche à vide. Le flacon a son ouverture placée exactement au-dessous d'un tube effilé à entonnoir et à robinet qui traverse la tubulure dont la cloche est munie à son sommet. L'entonnoir est rempli d'eau récemment bouillie. On fait le vide et après un certain temps, en ouvrant doucement le robinet, on laisse descendre goutte à goutte l'eau dans le flacon. En frappant de temps en temps du poing sur la plaque de verre qui supporte le tout, on détache les bulles d'air. L'opération dure au moins une heure ou une heure et demie.

4. On met le flacon dans la glace fondante et on produit l'affleurement en ajoutant de l'eau ou en en retirant à l'aide d'un tortillon de papier à filtre. Cette opération demande près d'une heure.

5. On pèse.

6. On vide le flacon. A cause de l'étroitesse du tube, l'opération est excessivement pénible et longue. On y parvient en donnant des secousses au flacon bien rempli d'eau sans interposition de bulles d'air, l'ouverture tournée en bas et plongée dans l'eau d'une capsule. Elle dure à peu près deux heures en y comprenant le lavage final du flacon avec de l'eau pure et son séchage afin de le préparer pour une nouvelle opération.

J'ai exécuté un certain nombre de ces mesures sur les fonds bruts et sur les mêmes fonds après qu'ils avaient été passés à l'acide afin d'être débarrassés de leur carbonate de chaux.

Station	Latitude N.	Longitude W.	Profond. m.	Densité avant acide	Densité après acide	Calcaire %	Nature du Fond
629	48° 12'	13° 45' 30"	4150	2.707	2.644	48.5	V. S. calcaire.
647	36° 54'	23° 06' 30"	4400	2.713	2.566	77.1	V. S. ext^{t} calcaire.
651	36° 55'	24° 43'	4261	2.588	2.474	76.2	V. S. ext^{t} calcaire.
662	37° 28' 30"	27° 52'	1732	2.575	2.526	13.6	V. S. calcaire.
666	37° 29' 30"	27° 51' 40"	1779	2.556	2.521	12.6	V. S. calcaire.
672	37° 51'	29° 14'	2252	2.717	2.681	57.6	V. S. très calcaire.
675	37° 57'	30° 08'	1748	2.770	2.799	57.2	V. S. très calcaire.
680	38° 19' 15"	30° 28' 45"	1550	2.839	2.869	36.8	V. S. calcaire.
821	30° 48'	27° 38' 30"	5440	2.712	»	66.0	V. très calcaire.

La précision réelle du résultat ne compense pas la longueur de l'opération. Il s'agit non de la précision de l'opération elle-même qui peut-être aussi parfaite que possible, mais de la précision réelle permettant d'affirmer que le chiffre trouvé représente bien la véritable densité d'une masse de quelques kilogrammes, par exemple, du fond. Le quartz, le feldspath, le carbonate de chaux et l'argile, éléments principaux des fonds, ayant à peu près la même densité, le chiffre obtenu ne peut provenir que de la présence en quantité plus ou moins considérable, de silicates lourds toujours en faible proportion et souvent assez inégalement distribués dans un même fond. Les minéraux volcaniques, si communs dans les fonds des Açores et de l'archipel du Cap Vert, sont criblés de vacuoles, de sorte que la densité après acide est inférieure à la densité de l'échantillon brut, ainsi qu'on le constate sur six des fonds inscrits sur le tableau. Il y a encore à considérer le fait, que le carbonate de chaux se trouve en grande partie sous forme de globigérines ou autres foraminifères dont il est véritablement impossible de chasser l'air adhérent. Pour tous ces motifs, à moins de travailler en vue de recherches spéciales, la prise d'une densité apparente et, à plus forte raison, réelle, en tant qu'il ne s'agit que de caractériser des fonds, ne vaut pas les soins et le temps qu'elle exige.

C. — Hygrométricité des fonds

Les fonds marins sont récoltés soit au moyen du tube sondeur, soit avec une drague ou avec un sondeur à cuillers. On sèche l'échantillon en ayant soin de ne perdre aucune de ses parties afin de n'apporter aucun trouble dans les proportions relatives des divers éléments qui le constituent. Les boudins sont en général enveloppés dans une bande de calicot préalablement lavé pour en enlever l'apprêt et sur laquelle on inscrit au crayon le numéro de la station et la profondeur. On les roule ensuite dans un papier à filtre et l'on introduit le tout dans un tube en verre bouché afin qu'ils ne se brisent pas. On a eu soin de noter par un signe quelconque, sur l'échantillon lui-même, le haut et le bas. Quand l'échantillon a été recueilli dans la drague ou le chalut, on se borne, après dessication, à l'enfermer dans un petit sac en calicot lavé. Je ne répéterai pas, une fois de plus, que les échantillons souillés de suif, toujours incomplets, ne peuvent servir qu'à donner une grossière notion de la nature du sol sous-marin et qu'en aucun cas ils ne valent la peine d'être analysés.

C'est dans cet état que les échantillons sont conservés et parviennent à la personne chargée de les analyser. Comme ils sont remplis par les sels de l'eau de mer qui les imbibait et s'est évaporée, ils sont extrêmement hygrométriques, et cette propriété possède une grande influence sur l'exactitude des pesées. La puissance avec laquelle est absorbée et fixée l'humidité de l'air varie aussi avec la nature de l'échantillon : assez faible avec les sables purs, elle est très énergique avec les vases calcaires. Afin de l'étudier dans le cas des vases, j'ai exécuté les expériences suivantes.

Une vase très calcaire, résidu de chalut récoltée Stn. 821, le 12 juillet 1897, 30° 48' Lat. N; et 27° 38' 30" Long. W, par 5440 m de profondeur et simplement séchée à bord, a été placée dans un flacon en verre mince, à large ouverture, bouché à l'émeri et préalablement taré. L'échantillon abandonné à l'air a été pesé au dixième de milligramme sans jamais être sorti du flacon. Puis il a été placé sous une cloche à côté d'une capsule remplie d'eau et pesé chaque jour pendant vingt-neuf jours. Il a été ensuite desséché au bain de sable. Son poids parfaitement sec était de 5.9596 g.

L'échantillon a été lavé à l'eau douce et débarrassé de ses sels; on a laissé déposer, siphonné l'eau limpide surnageante, séché avec précaution et abandonné à l'air libre. Il a été alors pesé, placé sous la cloche humide, pesé de nouveau chaque jour jusqu'à permanence du poids, desséché complètement au bain de sable et pesé une dernière fois.

Enfin l'échantillon lavé et parfaitement sec a été étalé dans un verre de montre, abandonné à l'air et pesé de dix en dix minutes.

Temps (jours)	Ech. salé	Echantillon lavé		
	Cloche humide		Air libre	
	Poids	Poids	Temps (minutes)	Poids
0	100.0	100.0	0	100.0
1	101.6	102.0	10	100.4
2	103.1	102.7	20	100.8
3	104.8	103.2	30	101.0
4	106.2	»	40	101.0
5	»	103.6	190	101.1
6	108.1	103.7		
7	109.2	103.7		
8	110.1			
9	111.0			
10	111.7			
13	113.0			
14	113.4			
16	114.9			
18	115.9			
27	119.0			
28	119.3			
29	119.6			

Le tableau où les poids ont été ramenés à 100 d'échantillon sec, indique les résultats obtenus. Il a servi à dresser un graphique de trois courbes (Pl. II, fig. 7) pour chacune desquelles les temps sont comptés en abscisses et les poids en ordonnées.

On voit sur ce graphique que

L'échantillon salé peut absorber jusqu'à 24 °/₀ environ de son poids d'humidité au bout de 40 à 45 jours.

L'échantillon lavé, après 6 jours, atteint le maximum de son absorption d'humidité, 4.2 °/₀ de son poids, environ.

L'échantillon lavé, abandonné à l'air libre dans les conditions ordinaires, plutôt défavorables, car on opérait en hiver, par temps humide, arrive à son maximum d'absorption, 1.1 °/₀ environ, au bout de 200 minutes environ, soit trois heures et demie. La courbe montre que le poids n'augmente pas sensiblement après 1 heure.

Ces expériences indiquent les précautions à prendre quand on effectue l'analyse d'un fond marin. Je n'exécute mes pesées que sur des échantillons lavés, complètement desséchés et abandonnés à l'air libre depuis une heure au moins. Je me contente ensuite, dans mes analyses ordinaires, de diminuer chaque pesée de 1 °/₀ de sa valeur.

D. — Analyse mécanique des fonds

Sans modifier en rien dans ses parties essentielles, la méthode (Pl. III, fig. 8, 9, 10, 11) d'analyse mécanique des fonds telle que je l'ai décrite[1], j'ai introduit dans les procédés qui m'ont servi pour les fonds provenant de la campagne de 1901, un certain nombre de perfectionnements permettant de simplifier et d'abréger les opérations tout en leur donnant plus de précision.

1. J'ai pris sur les boudins, des échantillons de 15 g seulement au lieu de 20 que je prenais précédemment : 10 g servaient à l'analyse elle-même, 5 étaient conservés.

2. Les diverses opérations de tamisages et autres ont été effectuées sur des échantillons dessalés puis parfaitement desséchés, abandonnés ensuite à l'air libre et les pesées ont toujours été diminuées de 1 °/₀ de leur valeur. On gagne ainsi beaucoup de temps, on est plus près de la vérité et l'erreur commise est notablement en deçà des limites de précision que comporte l'analyse elle-même.

3. Le dosage de l'acide carbonique et du carbonate de chaux qui en est la conséquence, au lieu de se faire par différence de poids, s'est effectué directement.

L'appareil (Pl. III, fig. 10) se compose d'un flacon à trois tubulures, la première fermée par un simple bouchon, la seconde par un tube à chlorure de calcium, la troisième par un réservoir à acide chlorhydrique bouché à l'émeri et muni d'un robinet. Il pèse, chargé de chlorure de calcium et d'acide, environ 50 g.

[1] J. Thoulet. *Etude de fonds marins provenant du voisinage des Açores et de la portion orientale de l'Atlantique nord.* Résultats des campagnes scientifiques accomplies sur son yacht, par Albert Ier, Prince Souverain de Monaco, fasc. XIX, p. 6. 1901.

Une tare étant placée dans un des plateaux de la balance, on met dans l'autre plateau l'appareil rempli de 14 cmcb d'eau et on équilibre avec des poids marqués P.

On ajoute 1.2 g à 1.5 g de fond, on rétablit l'équilibre avec des poids marqués P'; le poids exact du fond est P — P'.

On fait couler l'acide goutte à goutte, très lentement et en agitant; quand l'effervescence est terminée, on débouche la tubulure portant le simple bouchon, on aspire par le tube à chlorure de calcium pour balayer l'acide carbonique, on laisse refroidir, on porte de nouveau sur la balance et on équilibre avec un poids P''; (P'' — P') est le poids de l'acide carbonique, (P'' — P') 2.27 celui du carbonate de chaux et $\frac{(P'' - P')\ 2.27 \times 100}{P - P'}$ celui du calcaire pour cent de l'échantillon. P — P' a été diminué de 1 pour 100 de sa valeur afin de tenir compte de l'hygrométricité.

Les proportions des divers éléments sableux du fond sont calculés en admettant que le pourcentage de calcaire est rigoureusement exact et ensuite ramené à 100.

4. Au lieu de me servir de verres de Bohême, j'ai employé pour le lavage et le dépôt des sédiments, de grandes capsules de porcelaine moins fragiles et moins profondes. La déposition s'opère plus rapidement puisque la couche d'eau est moins épaisse. Je siphonne à l'aide d'un tube fin de caoutchouc et le dépôt solide, après dessication, est plus facile à rassembler et à recueillir.

L'analyse complète s'effectue donc de la manière suivante.

Dans une petite capsule de porcelaine on dépose, dans de l'eau, environ 10 g de fond, on laisse se déliter, on passe au tamis 200 dans une capsule moyenne; les portions arrêtées sont des sables qu'on sèche et qu'on passe ensuite aux tamis 30, 60, 100 et 200 secs. De la portion ayant traversé 200, on isole par lévigation dans une grande capsule, les fins-fins. Ceux-ci sont séchés et pesés à part, mais cette valeur, utile à connaître, n'est considérée que comme approximative et réunie à celle de l'argile calcaire. Néanmoins, il est avantageux, quand on se livre ensuite à l'étude microscopique, de pouvoir examiner à part ces fins-fins. Les grains plus gros, dans certains cas, m'ont fait absolument défaut. Les diverses fractions isolées et pesées séparément sont réunies et bien mélangées; sur leur masse on prélève 1.2 g à 1.5 g destinés au dosage de l'acide carbonique. L'opération effectuée, on vide l'appareil à acide carbonique, on ajoute le reste du fond, on traite par de l'acide chlorhydrique étendu de $\frac{2}{3}$ d'eau qu'on ajoute par petites portions et, autant que possible, en quantité rigoureusement suffisante pour attaquer la totalité du calcaire. Aussitôt que toute effervescence a cessé, on remplit la capsule d'eau un peu tiède, on agite, on laisse déposer, ce qui a lieu promptement, la liqueur contenant toujours un léger excès d'acide et beaucoup de chlorure de calcium dissous; on siphonne, on lave à l'eau tiède, on laisse déposer, on siphonne encore, on ajoute de nouvelle eau tiède, on passe au tamis 200 et, comme précédemment, on isole par tamisage et on pèse les divers sables inattaquables aux acides faibles et, par décantation, les fins-fins ainsi que l'argile pure.

E. — Analyse microscopique des fonds

La reconnaissance au microscope des diverses espèces minérales dont les grains sont épars dans les échantillons plus ou moins vaseux des grands fonds est une opération assez délicate à cause de l'extrême finesse de ces grains[1]. Certaines espèces minérales possèdent des caractères nets et aisément discernables sur des grains moyens : ainsi l'amphibole est caractérisée par son dichroïsme, le pyroxène par ses vives couleurs de polarisation et son extinction très oblique entre les nicols croisés, la glauconie par sa coloration verte, son opacité et son aspect général. En revanche, beaucoup d'autres n'ont aucun caractère les distinguant des autres espèces. Chez quelques-unes les couleurs de polarisation vives ou faibles ont, pour plusieurs, la même vivacité ou la même faiblesse ; chez d'autres, fortement réfringentes, la minceur des cristaux donne une teinte pâle du blanc d'ordre le plus élevé qui se confond avec la pâleur d'espèces moins réfringentes mais en cristaux plus épais. Sur des cristaux irréguliers, il est peu aisé de distinguer la direction ou seulement même la présence des clivages, à moins qu'ils ne soient très nets, tandis que leur épaisseur, très variable, produit, en lumière polarisée, une bigarrure de teintes rendant illusoire toute tentative de mesures d'indices de réfraction ou de signe optique. L'immersion dans des liquides d'indices divers ne fournit de résultats que si ces liquides possèdent absolument la même nuance que les grains. Il arrive aussi qu'un même minéral, dans des fonds différents, modifie son aspect ordinaire, sans compter les phénomènes de tension moléculaire si fréquents dans les minéraux d'origine ignée comme les verres volcaniques qui polarisent légèrement la lumière bien qu'ils soient en réalité isotropes. La méthode d'analyse microchimique rend peu de services dans l'impossibilité où l'on est d'isoler de la masse de ceux qui l'accompagnent, pour le traiter à part, un grain particulier qui présente des dimensions parfois inférieures à 0.01 mm. Néanmoins, certains minéraux manifestent des caractères si spéciaux qu'on peut les reconnaître aisément. Parmi eux je citerai l'amphibole, le pyroxène, le péridot, le silex, le grenat, la tourmaline, la glauconie et la ponce.

[1] J'ai cherché à évaluer le volume et le poids des grains minéraux fins-fins qui servent le plus souvent à l'examen microscopique, lorsqu'il s'agit de fonds de grande profondeur.

La dimension moyenne de ces grains est comprise entre 0.04 et 0.02 mm. En adoptant le chiffre 0.03 mm et en supposant qu'ils soient cubiques, c'est-à-dire que leur épaisseur soit égale au côté de leur base, le volume de l'un d'eux sera : $0.03^3 = 0.000027$ mm.

En prenant pour leur densité moyenne 2.6, densité du quartz, leur poids sera : $0.000027 \times 26 = 0.00007$ mmg. Soit : 14300 grains au milligramme.

Mais comme ces grains, loin d'être cubiques, sont au contraire, disposés suivant leur plat sur la lame du verre porte-objet et que leur densité moyenne est certainement supérieure à 2.6 à cause de la présence de la magnétite et des minéraux ferrugineux, on sera plus près de la vérité en admettant que chaque milligramme en contient environ 20000.

Les procédés de diagnostic ne doivent en aucun cas supprimer le minéral mais seulement lui faire éprouver, dans son aspect, des changements permettant de le particulariser immédiatement à l'œil. Depuis plusieurs années je m'occupe de ces problèmes et je ne tarderai pas à décrire en détail les procédés que j'emploie. Je me bornerai à en donner ici un très court résumé afin de montrer la façon dont j'ai étudié au microscope les fonds rapportés par la *PRINCESSE-ALICE* de sa campagne de 1901.

On commence par prendre une quantité à peu près égale au volume d'un grain de blé, du fond, et on l'introduit avec de l'eau douce dans laquelle on le met bien en suspension dans un tube effilé du genre de celui servant à la connaissance rapide des fonds (Pl. II, fig. 5) quoique beaucoup plus petit. On agite pour dessaler, on suspend la pointe en bas et on laisse reposer. Il suffit de déposer une goutte d'eau sur une lamelle porte-objet, d'y plonger la pointe ouverte du tube, pour recueillir un échantillon. En réalité on en prend toujours deux, l'un au bas qui contient les gros éléments constituants, l'autre dans le haut qui donne les plus fins. On absorbe une partie de la goutte d'eau avec un tortillon de papier buvard et on fait sécher sur la brique. On humecte l'échantillon sec avec de la naphtaline monobromée et on observe au microscope. La méthode est surtout utile pour l'étude des organismes calcaires et de l'aspect général, car la grande quantité d'argile amorphe rend difficiles la découverte et la reconnaissance des particules minérales. L'examen microscopique est, bien entendu, précédé d'un examen macroscopique à l'œil nu ou avec une simple loupe.

La brique est une étuve très commode. L'appareil consiste en une brique placée sur une plaque de fonte supportée elle-même par un trépied et sous laquelle on installe une flamme veilleuse. Elle a été préalablement percée de trous dans lesquels on introduit les tubes à essai afin d'effectuer les attaques aux acides. On obtient ainsi une chaleur douce, uniforme et aisée à régler.

On examine les sables provenant des divers tamisages et surtout les fins-fins résultant de la lévigation des argiles après attaque par les acides faibles, pendant l'analyse mécanique. Nous avons fait remarquer qu'au point de vue de cette analyse, le chiffre des fins-fins n'est qu'une approximation, mais leur séparation offre l'avantage de laisser recueillir de minuscules parcelles minérales qui auraient été absolument indiscernables si elles étaient restées mêlées à la vase. Il arrive parfois que les seuls minéraux inattaquables aux acides faibles contenus dans un fond sont des fins-fins.

On prépare et on observe alors au microscope 6 préparations moitié à la naphtaline monobromée incolore et moitié à la naphtaline colorée, savoir : 2 de minéraux calcinés, 2 de minéraux traités par l'acide chlorhydrique pur, 2 de minéraux traités par l'acide fluorhydrique.

La coloration des grains rend des services. Je l'effectue en humectant ceux-ci sur la lamelle en verre porte-objet avec une goutte de naphtaline monobromée colorée au vert malachite d'aniline. On abandonne pendant quelques minutes,

quelquefois même on chauffe un instant sur la brique puis on absorbe la naphtaline colorée avec un tortillon de papier à filtre, on lave les grains avec de la naphtaline non colorée et on observe au microscope. Certains minéraux plus ou moins poreux absorbent rapidement la couleur, le magma basaltique, par exemple. Mais la coloration est surtout précieuse pour montrer les minéraux qui ont été attaqués par l'acide chlorhydrique ou l'acide fluorhydrique.

Les grains naturels sont observés successivement en lumière naturelle transmise et réfléchie, puis polarisée. On note l'aspect général, le mode de cassure, l'allongement indiquant la présence de clivages, la couleur, la translucidité, l'opacité, le dichroïsme, la polarisation en couleurs vives ou pâles, la direction d'extinction entre les nicols croisés. On reconnaît ainsi la ponce, la glauconie, le silex, le grenat, le pyroxène, l'amphibole, le verre volcanique, le magma basaltique.

On dépose les grains en quantité pesant à peine quelques millièmes de milligrammes, sur une lame de platine. On chauffe au rouge sur un simple bec Bunsen pendant exactement deux minutes ; on observe dans la naphtaline incolore et quelquefois dans la naphtaline colorée. Le péridot, par exemple, jaunit fortement et donne des couleurs de polarisation aussi vives qu'avant calcination mais nuancées de jaune foncé; les organismes siliceux décrépitent, la matière organique brûle et dégage une odeur.

On place un peu de matière dans un petit tube à essai, long de 3 à 4 cm, avec de l'acide chlorhydrique pur, on introduit dans un des trous de la brique modérément chaude, on laisse agir pendant 30 minutes, on note la couleur de l'acide, on lave à l'eau distillée, on prépare à la naphtaline incolore et colorée.

On dépose quelques millièmes de milligramme de matière dans une capsule en platine de la dimension d'une pièce de deux francs. A l'aide d'une cuiller en platine servant aux essais au chalumeau, on verse une cuillerée d'eau distillée puis une cuillerée d'acide fluorhydrique; on agite et on laisse en repos pendant dix minutes exactement; enfin on examine sous le microscope après lavage. Les feldspaths particulièrement attaqués deviennent alors reconnaissables.

Les liqueurs acides peuvent être ultérieurement essayées par les procédés microchimiques.

F. — Dosage de l'ammoniaque

Les procédés de dosage de l'ammoniaque contenue dans les fonds sont identiques à ceux employés, pour ce dosage, dans les eaux marines. Cependant, comme la quantité d'ammoniaque libre a été reconnue être très faible, sensiblement constante et égale à environ 10 mmg par kilogramme de fond, on ne l'a déterminée que pour un certain nombre d'échantillons et on s'est ensuite borné à doser en bloc l'ammoniaque totale, c'est-à-dire libre et albuminoïde.

Pour doser l'ammoniaque libre, on exécute d'abord une expérience préliminaire

avec l'eau distillée que l'on emploiera dans les essais ultérieurs et qui contient toujours un peu d'ammoniaque.

On verse dans un ballon à fond plat (Pl. II, fig. 6) 125 cmcb d'eau distillée et 1 g de magnésie récemment calcinée, on distille au quart, c'est-à-dire jusqu'à ce qu'on ait recueilli 31 cmcb et on dose sur 15 cmcb avec 0.75 cmcb de réactif de Nessler.

L'opération est recommencée sur chaque fond dont on prend 0.5 g en ayant soin de retrancher du résultat la quantité d'ammoniaque trouvée dans l'eau distillée à la suite de l'opération précédente.

Pour obtenir l'ammoniaque totale, on commence par évaluer l'ammoniaque totale contenue dans l'eau distillée dont on fera usage. On mélange dans le ballon 125 cmcb d'eau distillée et 7.5 cmcb de solution alcaline de permanganate de potasse préparée comme il a été indiqué précédemment. On distille au quart, c'est-à-dire jusqu'à ce qu'on ait recueilli 33 cmcb de liquide et on dose sur 15 cmcb avec 0.75 cmcb de réactif de Nessler.

On recommence sur 0.5 g de fond et on retranche du chiffre trouvé, le résultat de l'analyse précédente.

Six expériences d'essai ont montré que dans les 33 premiers centimètres cubes distillés, 0.82 de l'ammoniaque totale ont passé. Chaque résultat brut d'analyse de fond devra donc être multiplié par $\frac{100}{82} = 1.22$.

Quand l'échantillon est très riche en matières organiques, le permanganate est complètement décoloré. On recommence alors l'opération sur 0.250 g seulement de l'échantillon. Dans ce cas, sur les 33 cmcb distillés, on prend 3 ou 5 cmcb, selon que l'on présume l'échantillon plus ou moins riche en matières organiques, on étend à 15 cmcb avec de l'eau distillée et on ajoute 0.75 cmcb de réactif de Nessler. Si 5 cmcb avaient donné une coloration trop forte, on recommencerait avec 3 cmcb seulement; il reste assez de liquide pour suffire à plusieurs essais.

Comme contrôle, on peut doser l'ammoniaque dans le reste des 33 cmcb distillés et non utilisés, avec de l'acide chlorhydrique centinormal, c'est-à-dire contenant 0.3646 g d'acide par litre et dont, par conséquent, 1 cmcb correspond à 0.1701 mmg d'ammoniaque. Le tournesol sert de réactif indicateur. Toutes les fois que les deux méthodes ont été employées ensemble, leur concordance a toujours été satisfaisante. Du reste, la méthode par l'acide chlorhydrique ne peut être employée que lorsque la quantité d'ammoniaque est très considérable.

Il ne faut pas manquer, après chaque essai, de bien rincer à l'eau distillée, le réfrigérant de Liebig.

On admet que le poids de matière organique azotée est d'environ 10 fois le poids de l'ammoniaque albuminoïde.

Exemple. — Fond 1211, ammoniaque libre, 125 cmcb d'eau distillée contiennent 0.022 mmg d'ammoniaque; 125 cmcb d'eau distillée et 0.5 g du fond contiennent 0.027 mmg d'ammoniaque d'où pour le fond $0.027 - 0.022 = 0.005$ ou, pour 1 kilog. $0.005 \times 2000 = 10$ mmg.

Sur le tableau suivant, les fonds sont rangés par ordre de profondeur croissante.

Station	Prof. m.	Az H^3 totale mmg. par kil.	Station	Prof. m.	Az H^3 totale mmg. par kil.	Station	Prof. m.	Az H^3 totale mmg. par kil.
1233	611	207	1134	1700	61	1211	3970	88
1113 haut	851	32	1246 haut	1737	215	1124	4020	61
1113 bas	»	61	1246 bas	»	228	1129	4306	67
1198 haut	875	1739	1115 haut	2165	249	1230 haut	5380	107
1198 bas	»	1429	1115 bas	»	228	1230 bas	»	93
1117	1098	309	1181 haut	2478	188	1226	5430	188
1192 haut	1311	692	1181 bas	»	228	1160	5443	80
1192 bas	»	574	1131	2990	127	1227 haut	5460	207
1205 haut	1477	329	1149	3890	188	1227 bas	»	268
1205 bas	»	408	1125 haut	3968	53	1169	6035	175
1134	1500	228	1125 bas	»	77			

La profondeur d'un fond au-dessous de la surface de l'océan est sans influence sur la quantité d'ammoniaque que contient ce fond.

Dans l'épaisseur d'un même fond, la quantité d'ammoniaque n'a point de relation avec les distances à la surface du sol : tantôt elle augmente et tantôt elle diminue; elle paraît pourtant être un peu plus abondante vers la surface.

G. — Tableaux

Station 1113 (haut)

10 juillet 1901. Lat. = 33° 59' 30'' N.
Côte du Maroc (40 milles au large de Casa Blanca). Long. = 10° 33' W.
Tube sondeur Buchanan. Prof. = 851 m.
Haut de l'échantillon.

Vase sableuse très calcaire glauconieuse.

Sable gros.....		1		après acide...	0		et calcaire °/°.....	100
Sable moyen.....		14		» ...	0		»	100
Sable fin		15		» ...	0		»	100
Sable très fin		11		» ...	1		»	91
Vase	fins-fins....	8	59	» ...	3	42	»	28
	arg. calc...	51			»			
Argile.....		»		» ...	39			
Calcaire.....		»		» ...	57			
		100			100			

Ammoniaque totale = 32 mmg par kilog.

Vase [1] couleur café au lait un peu rosé, aspect mamelonné avec points blancs.

Foraminifères empâtés et jeunes, débris organiques A, *Planorbulina, Textularia*, fins débris de coquilles, spicules.

Grains opaques rouges; glauconie dont les grains peu attaqués par HCl et HFl sont très roulés, possèdent une couleur jaune ocreux, conservent leur forme après calcination et absorbent fortement la naphtaline colorée.

Pyroxène R, péridot R, chabasie R (?) quartz.

[1] L'aspect général des échantillons est décrit, ceux-ci étant secs. La coloration de l'échantillon humide est beaucoup plus intense. Les désignations d'organismes ne sont que de simples indications; ils mériteraient une étude spéciale qui n'est pas de ma compétence. A signifie abondant, AA très abondant, R rare, RR très rare.

Station 1113 (bas)

10 juillet 1901. Lat. = 33° 59' 30" N.
Côtes du Maroc (40 milles au large de Casa Blanca). Long.= 10° 33' W.
Tube sondeur Buchanan. Prof. = 851 m.
Bas de l'échantillon.

Vase sableuse très calcaire glauconieuse.

Sable gros	1		après acide	0		et calcaire °/°		100
Sable moyen	18		»	0		»		100
Sable fin	26		»	0		»		100
Sable très fin	16		»	0		»		100
Vase fins-fins	9	39	»	2	31	»		20
Vase arg. calc	30		»	»				
Argile	»		»	29				
Calcaire	»		»	69				
	100			100				

Ammoniaque totale = 61 mmg par kilog.

Identique à 1113 haut. Tourmaline R.

Station 1115 (haut)

11 juillet 1901.
50 milles au large de Mogador.
Tube sondeur Buchanan.
Haut de l'échantillon.

Lat. = 31° 43' 30" N.
Long. = 13° 07' W.
Prof. = 2165 m.

Vase calcaire.

Sable gros	0		après acide	0		et calcaire °/₀		»
Sable moyen	2		»	0		»		100
Sable fin	2		»	0		»		100
Sable très fin	3		»	0		»		100
Vase fins-fins	1	93	»	0	54	»		42
Vase arg. calc.	92		»	»				
Argile	»		»	54				
Calcaire	»		»	46				
	100			100				

Ammoniaque totale = 249 mmg par kilog.

Vase homogène un peu rosée.

Globigérines petites et rares, Foraminifères et fragments de tests donnant la croix tournante R.

Fine poussière minérale impossible à reconnaître.

Station 1115 (bas)

11 juillet 1901.
50 milles au large de Mogador.
Tube sondeur Buchanan.
Bas de l'échantillon (14 cm plus bas que 1115 haut).

Lat. = 31° 43' 30" N.
Long. = 13° 07' W.
Prof. = 2165 m.

Vase calcaire.

Sable gros	»		après acide	»		et calcaire °/₀		»
Sable moyen	1		»	0		»		100
Sable fin	1		»	0		»		100
Sable très fin	3		»	0		»		100
Vase fins-fins	0	95	»	0	58	»		»
Vase arg. calc.	95		»	»		»		39
Argile	»		»	58				
Calcaire	»		»	42				
	100			100				

Ammoniaque totale = 228 mmg par kilog.

Identique à 1115 haut.

Station 1117

12 juillet 1901. Lat. = 29° 06' 30'' N.
Côte E. de Lanzarote à 3 milles de terre. Long.= 15° 43' W.
Tube sondeur Buchanan. Prof. = 1098 m.
Haut de l'échantillon.

Vase sableuse très calcaire volcanique basaltique.

Sable gros	»		après acide	»		et calcaire °/₀			»
Sable moyen	1		»	0		»			100
Sable fin	3		»	1		»			66
Sable très fin	20		»	3		»			85
Vase fins-fins	9	76	»	3	35	»			»
Vase arg. calc	67		»	»		»			54
Argile	»		»	32					
Calcaire	»		»	61					
	100			100					

Ammoniaque totale = 309 mmg par kilog.

Vase homogène grise.

Foraminifères, Globigérines, *Pulvinulina*, fragments de tests siliceux, Radiolaires, spicules.

Grains opaques rouges, grains opaques noirs, verre volcanique brun-verdâtre, verre volcanique bulleux et vitreux A, magma basaltique R.

Amphibole R, pyroxène, péridot criblé de magnétite AA, quartz.

Station 1124

16 juillet 1901. Lat. = 25° 50' N.
Entre les Canaries et les îles du Cap Vert. Long. = 22° 31' W.
Tube sondeur Buchanan. Prof. = 4020 m.
Haut de l'échantillon.

Vase sableuse très calcaire volcanique vitreuse.

Sable gros	0		après acide	0		et calcaire °/₀		»
Sable moyen	11		»	0		»		100
Sable fin	6		»	0		»		100
Sable très fin	13		»	0		»		100
Vase fins-fins	5	70	»	0	26	»		62
Vase arg. calc	65		»	»				
Argile	»		»	26				
Calcaire	»		»	74				
	100			100				

Ammoniaque totale = 61 mmg par kilog.

Vase homogène grise; au microscope aspect noirâtre.

Globigérines, Radiolaires R, débris de Radiolaires, spicules.

Grains opaques rouges, grains opaques noirs, verre volcanique translucide brun-jaune, plages vertes translucides à polarisation d'agrégat devenant brunes par calcination.

Amphibole criblée de magnétite R, pyroxène en gros cristaux R, péridot R, quartz.

Station 1125 (haut)

16 juillet 1901. Lat. = 25° 55' N.
Entre les Canaries et les îles du Cap Vert. Long. = 22° 32' W.
Tube sondeur Buchanan. Prof. = 3968 m.
Haut de l'échantillon.

Vase sableuse extrêmement calcaire volcanique vitreuse.

Sable gros		0		après acide	0		et calcaire °/₀		»
Sable moyen		10		»	0		»		100
Sable fin		7		»	tr.		»		100
Sable très fin		15		»	tr.		»		100
Vase	fins-fins	5	68	»	tr.	22	»		67
	arg. calc	63		»	»				
Argile		»		»	22				
Calcaire		»		»	78				
		100			100				

Ammoniaque totale = 53 mmg par kilog.

Identique à 1124, même aspect, mêmes minéraux.

Station 1125 (bas)

16 juillet 1901. Lat. = 25° 55' N.
Entre les Canaries et les îles du Cap Vert. Long. = 22° 32' W.
Tube sondeur Buchanan. Prof. = 3968 m.
Bas de l'échantillon (8 cm au-dessous de 1125 haut).

Vase sableuse très calcaire volcanique vitreuse.

Sable gros	tr.		après acide	0		et calcaire °/₀		100
Sable moyen	11		»	0		»		100
Sable fin	9		»	0		»		100
Sable très fin	17		»	tr.		»		100
Vase fins-fins	6	63	»	tr.	25	»		60
Vase arg. calc	57		»	»				
argile	»		»	25				
Calcaire	»		»	75				
	100			100				

Ammoniaque totale = 77 mmg par kilog.

Identique à 1124; même aspect, mêmes minéraux.

Station 1129

17 juillet 1901.
Entre les Canaries et les îles du Cap Vert.
Tube sondeur Buchanan.
Haut de l'échantillon.

Lat. = 25° 41' N.
Long. = 22° 41' W.
Prof. = 4306 m.

Vase sableuse très calcaire volcanique vitreuse.

Sable gros	tr.		après acide	»		et calcaire °/₀		»
Sable moyen	7		»	0		»		100
Sable fin	5		»	0		»		100
Sable très fin	9		»	tr.		»		100
Vase fins-fins	4	79	»	1	37	»		53
Vase arg. calc	75		»	»				
Argile	»		»	36				
Calcaire	»		»	63				
	100			100				

Ammoniaque totale = 67 mmg par kilog.

Identique à 1124; même aspect, mêmes minéraux.

Station 1131

17 juillet 1901. Lat. = 25° 45' N.
Entre les Canaries et les îles du Cap Vert. Long. = 22° 30' W.
Tube sondeur Buchanan. Prof. = 2290 m.
Haut de l'échantillon.

Vase sableuse calcaire volcanique vitreuse.

Sable gros	2		après acide	0		et calcaire °/₀	100
Sable moyen	21		»	0		»	100
Sable fin	11		»	0		»	100
Sable très fin	13		»	0		»	100
Vase fins-fins	2	53	»	1	55	grains incomp^t attaqués	
Vase arg. calc	51		»	»		enveloppés de calcaire	
Argile	»		»	54			
Calcaire	»		»	45			
	100			100			

Ammoniaque totale = 127 mmg par kilog.

Même aspect, mêmes minéraux que 1124. En outre quelques grains d'amphibole. Les fonds 1124, 1125, 1129 et 1131 sont très voisins les uns des autres et ne diffèrent que par la profondeur variant de 2990 à 4306 m. Cette identité de constitution, malgré une différence de profondeur dépassant 1000 m est digne d'attention. Le fer cependant semble être d'autant plus abondant que la profondeur est moindre.

Station 1134

20 juillet 1901. Lat. = 17° 14' N.
5 milles E. de la pointe N. de São Antão. Long.= 27° 21' 15'' W.
Tube sondeur Buchanan. Prof. = 1700 m.
Haut de l'échantillon.

Vase sableuse calcaire volcanique basaltique.

Sable gros	10		après acide	10		et calcaire °/₀	0
Sable moyen	9		»	6		»	33
Sable fin	10		»	8		»	20
Sable très fin	37		»	35		»	54
Vase fins-fins	12	34	»	14	29	»	»
Vase arg. calc	22		»	»		»	14
Argile	»		»	15			
Calcaire	»		»	12			
	100			100			

Ammoniaque totale = 61 mmg par kilog.

Vase à aspect sableux gris verdâtre foncé en grumeaux, mélangée de Globigérines empâtées et de débris de coquilles.

Foraminifères, Globigérines, débris de Ptéropodes, Radiolaires, spicules R.

Grains opaques rouges, verre volcanique jaune-rouge, magma basaltique.

Amphibole brune peu dichroïque A, amphibole verte très dichroïque A, pyroxène, péridot A.

Station 1149

25 juillet 1901. Lat. = 16° 12' N.
Près de Santa Luzia. Long. = 27° 04' W.
Tube sondeur Buchanan. Prof. = 3890 m.
Haut de l'échantillon.

Vase sableuse très calcaire volcanique basaltique.

Sable gros	1		après acide	0		et calcaire °/₀		100
Sable moyen	16		»	tr.		»		100
Sable fin	6		»	tr.		»		100
Sable très fin	19		»	2		»		89
Vase fins-fins	5	58	»	4	38	»		»
Vase arg. calc	53		»	»		»		34
Argile	»		»	34				
Calcaire	»		»	60				
	100			100				

Ammoniaque totale = 188 mmg par kilog.

Vase granuleuse grisâtre avec Globigérines empâtées, Globigérines jeunes et débris de tests.

Radiolaires R, spicules.

Grains opaques rouges A, verre volcanique translucide brun-rouge R, magma basaltique.

Amphibole brune A, amphibole jaune, pyroxène A, péridot.

Station 1160

21 juillet 1901. Lat. = 14° N.
Vers le S.-W. des îles du Cap Vert. Long. = 32° 21' W.
Tube sondeur Buchanan. Prof. = 5443 m.
Haut de l'échantillon.

Vase calcaire.

Sable gros	tr.		après acide	»		et calcaire °/₀		»
Sable moyen	2		»	0		»		100
Sable fin	1		»	0		»		100
Sable très fin	3		»	tr.		»		100
Vase fins-fins	1	94	»	tr.	81	»		13
Vase arg. calc	93		»	»				
Argile	»		»	81				
Calcaire	»		»	19				
	100			100				

Ammoniaque totale = 80 mmg par kilog.

Vase homogène jaune rougeâtre pâle.
Débris de tests siliceux.
Minéraux extrêmement fins et peu abondants. Cet échantillon est un véritable type de vase profonde éloignée des côtes.

Station 1169

4 août 1901.
S.-W. des îles du Cap Vert.
Tube sondeur Buchanan.
Haut de l'échantillon.

Lat. = 12° 05' N.
Long. = 35° 51' 30" W.
Prof. = 6035 m.

Vase non calcaire volcanique basaltique.

Sable gros	»		après acide	»		et calcaire °/₀			»
Sable moyen	»		»	»		»			»
Sable fin	tr.		»	0		»			100
Sable très fin	tr.		»	tr.		»			»
Vase fins-fins	tr.	100	»	tr.	99	»			»
Vase arg. calc.	100		»	»		»			1
Argile	»		»	99					
Calcaire	»		»	1					
	100			100					

Ammoniaque totale = 175 mmg par kilog.

Vase rougeâtre homogène à grains très fins avec rares Globigérines blanches empâtées.

Globigérines jeunes, fragments de Radiolaires, spicules A.

Grains opaques rouges et surtout jaunes A, verre volcanique brun-rouge foncé, magma basaltique.

Amphibole brune R, pyroxène avec magnétite A, péridot R, feldspath. Ce fond si voisin de 1160 et si différent de constitution est remarquable; tous deux sont situés en plein océan, loin de toute côte. On ne peut guère expliquer cette richesse en éléments volcaniques que par l'existence d'un courant venant de l'archipel du Cap Vert et ayant transporté par semi-flottaison, des grains de magma basaltique ou mieux, par l'hypothèse du voisinage d'un volcan sous-marin.

Station 1181 (haut)

11 août 1901.
Environ 5 milles S.-W. de Fogo.
Tube sondeur Buchanan.
Haut de l'échantillon.

Lat. = 14° 47' N.
Long. = 26° 52' W.
Prof. = 2478 m.

Vase sableuse calcaire volcanique basaltique.

Sable gros	tr.		après acide	tr.		et calcaire °/₀		»
Sable moyen	3		»	1		»		66
Sable fin	2		»	2		»		0
Sable très fin	43		»	40		»		7
Vase fins-fins	20	52	»	19	47	»		10
Vase arg. calc	32		»	»				
Argile	»		»	28				
Calcaire	»		»	10				
	100			100				

Ammoniaque totale = 188 mmg par kilog.

Vase gris-foncé granuleuse avec grosses Globigérines.
Globigérines jeunes, Radiolaires, spicules.
Grains rouges opaques, verre volcanique rouge foncé, magma basaltique A.
Amphibole brune et verte R, pyroxène A, péridot R, quartz (?)
Le boudin contenait un fragment de maillon de chainette en cuivre.

Station 1181 (bas)

11 août 1901. Lat. = 14° 47' N.
Environ 5 milles S.-W. de Fogo. Long. = 26° 52' W.
Tube sondeur Buchanan. Prof. = 2478 m.
Bas de l'échantillon (environ 15 cm plus bas que 1181 haut).

Vase sableuse calcaire volcanique basaltique.

Sable gros		7		après acide	8		et calcaire °/°	»
Sable moyen		8		»	5		»	37
Sable fin		5		»	4		»	20
Sable très fin		35		»	33		»	5
Vase	fins-fins	16	45	»	16	41	»	8
	arg. calc.	29		»	»			
Argile		»		»	25			
Calcaire		»		»	9			
		100			100			

Ammoniaque totale = 228 mmg par kilog.

Identique à 1181 haut.

Station 1192 (haut)

15 août 1901.
A 5 milles N.-E. de Maio.
Tube sondeur Buchanan.
Haut de l'échantillon.

Lat. = 15° 17' 50" N.
Long. = 25° 22' 45" W.
Prof. = 1311 m.

Vase sableuse extrêmement calcaire à pyroxène et basaltique.

Sable gros	tr.		après acide	»		et calcaire °/°		»
Sable moyen	2		»	0		»		100
Sable fin	2		»	0		»		100
Sable très fin	36		»	1		»		97
Vase fins-fins	11	60	»	2	21	»		65
Vase arg. calc.	49		»	»				
Argile	»		»	19				
Calcaire	»		»	78				
	100			100				

Ammoniaque totale = 692 mmg par kilog.

Vase verdâtre fine.
Foraminifères, Radiolaires, spicules, Diatomées A.
Grains opaques rouges, verre volcanique brun-foncé, magma basaltique R.
Amphibole brune, pyroxène AA, péridot R, feldspath (?)

Ce fond est particulièrement intéressant; la mer, au-dessus de lui est d'un vert-sale laiteux; mouillé après avoir été séché, il dégage une odeur marécageuse; attaqué par HCl étendu, il produit une mousse épaisse par suite de la coagulation de la matière albuminoïde; on a dû recommencer cinq fois, pour ce motif, le dosage de CO^2. Le dosage de l'ammoniaque a montré sa richesse en matière organique azotée. Malgré l'abondance des diatomées qui serait l'indice d'une eau saumâtre, ni la densité $S\frac{0}{4}$ de l'eau, ni sa chloruration, ni sa salinité, ni sa teneur en ammoniaque libre ou albuminoïde ne présentent rien d'extraordinaire. Comment d'ailleurs supposer aussi loin des terres et de terres aussi peu étendues que les îles d'un archipel, un afflux sous-marin d'eau douce?

Station 1192 (bas)

15 août 1901.
A 5 milles N.-E. de Maio.
Tube sondeur Buchanan.
Bas de l'échantillon (13 cm au-dessous de 1192 haut).

Lat. = 15° 17' 50" N.
Long. = 25° 22' 45" W.
Prof. = 1311 m.

Vase sableuse extrêmement calcaire à pyroxène et basaltique.

Sable gros	tr.		après acide	»		et calcaire °/₀		»
Sable moyen	3		»	0		»		100
Sable fin	2		»	0		»		100
Sable très fin	34		»	1		»		97
Vase fins-fins	16	61	»	2	14	»		77
Vase arg. calc.	45		»	»				
Argile	»		»	12				
Calcaire	»		»	85				
	100			100				

Ammoniaque totale = 574 mmg par kilog.

Identique à 1192 haut.

Station 1198 (haut)

16 août 1901.
A 3 milles dans le N.-E. de Maio.
Tube sondeur Buchanan.
Haut de l'échantillon.

Lat. = 15° 17' 30" N.
Long. = 25° 24' 40" W.
Prof. = 875 m.

Vase sableuse extrêmement calcaire à pyroxène, un peu basaltique.

Sable gros	»		après acide	»		et calcaire °/₀		»
Sable moyen	1		»	0		»		100
Sable fin	1		»	0		»		100
Sable très fin	22		»	0		»		100
Vase fins-fins	15	76	»	1	23	»		69
Vase arg. calc.	61		»	»				
Argile	»		»	22				
Calcaire	»		»	77				
	100			100				

Ammoniaque totale = 1739 mmg par kilog.

Vase homogène verdâtre fine, boudin vert du haut en bas; mouillée dégage une odeur marécageuse et donne une mousse épaisse avec l'acide.

Foraminifères, débris de Radiolaires, spicules, Diatomées AA, grains vaseux vert-jaunâtre.

Grains opaques rouges R, grains opaques blancs et grains opaques noirs, verre volcanique rouge-brun foncé, magma basaltique R.

Amphibole brune R, pyroxène très chargé de magnétite A, pyroxène violacé polarisant faiblement, péridot R, feldspath.

L'argile calcinée brûle et dégage des fumées.

Station 1198 (bas)

16 août 1901. Lat. = 15° 17' 30" N.
A 3 milles dans le N.-E. de Maio. Long. = 25° 24' 40" W.
Tube sondeur Buchanan. Prof. = 875 m.
Bas de l'échantillon (9 cm au-dessous de 1198 haut).

Vase sableuse extrêmement calcaire à pyroxène, un peu basaltique.

Sable gros	tr.		après acide...	0		et calcaire °/₀.....		»
Sable moyen.....	1		» ...	0		»		100
Sable fin.....	1		» ...	0		»		100
Sable très fin	23		» ...	0		»		100
Vase fins-fins....	20	75	» ...	2	20	»		73
Vase arg. calc....	55		» ...	»				
Argile.....	»		» ...	18				
Calcaire.....	»		» ...	80				
	100			100				

Ammoniaque totale = 1429 mmg par kilog.

Identique à 1198 haut.

Station 1205 (haut)

18 août 1901.
7 milles S.-W. de Sal.
Tube sondeur Buchanan.
Haut de l'échantillon.

Lat. = 16° 34' N.
Long. = 25° 23' 30" W.
Prof. = 1477 m.

Vase sableuse extrêmement calcaire à pyroxène, basaltique.

Sable gros	tr.		après acide	»			et calcaire °/₀		»
Sable moyen	6		»	0			»		100
Sable fin	4		»	0			»		100
Sable très fin	17		»	0			»		100
Vase fins-fins	8	73	»	1	22		»		70
Vase arg. calc.	65		»	»					
Argile	»		»	21					
Calcaire	»		»	78					
	100			100					

Ammoniaque totale = 329 mmg par kilog.

Vase homogène grise un peu rosée.

Foraminifères, Radiolaires *(Anthocyrtium)*, spicules, Diatomées AA.

Verre volcanique rouge-brun, plage vert-jaunâtre avec polarisation d'agrégat, magma basaltique.

Amphibole brune R, pyroxène A, pyroxène violacé criblé de magnétite, péridot R, feldspath (?)

Station 1205 (bas)

18 août 1901.
7 milles S.-W. de Sal.
Tube sondeur Buchanan.
Bas de l'échantillon (10 cm. au-dessous de 1205 haut).

Lat. = 16° 34' N.
Long. = 25° 23' 30" W.
Prof. = 1477 m.

Vase sableuse très calcaire à pyroxène, basaltique.

Sable gros.....	tr.		après acide...	»		et calcaire °/₀.....	»	
Sable moyen.....	6		»	... 0		»	.....	100
Sable fin.....	3		»	... 0		»	.....	100
Sable très fin.....	16		»	... tr.		»	.....	100
Vase { fins-fins....	8	75	»	... 1	25	»	.....	67
Vase { arg. calc...	67		»	... »				
Argile.....	»		»	... 24				
Calcaire.....	»		»	... 75				
	100			100				

Ammoniaque totale = 408 mmg par kilog.

Identique à 1205 haut.

Station 1211

21 août 1901.
Entre Fogo et São Nicolão.
Tube sondeur Buchanan.
Haut de l'échantillon.

Lat. = 15° 53' N.
Long. = 26° 57' W.
Prof. = 3970 m.

Vase sableuse très calcaire à pyroxène, basaltique.

Sable gros	tr.		après acide	0		et calcaire °/₀	»
Sable moyen	14		»	0		»	100
Sable fin	6		»	0		»	100
Sable très fin	11		»	tr.		»	100
Vase fins-fins	6	69	»	2	41	»	37
Vase arg. calc.	63		»	»			
Argile	»		»	39			
Calcaire	»		»	59			
	100			100			

Ammoniaque totale = 88 mmg par kilog.

Vase grumeleuse grisâtre homogène avec grosses Globigérines.

Foraminifères *(Planorbulina)*, Radiolaires, spicules, Diatomées.

Grains opaques rouges, grains opaques noirs, verre volcanique brun-rouge R, magma basaltique.

Amphibole brune, amphibole verte R, pyroxène A, péridot, feldspath.

En traitant par HCl, on obtient de nombreux petits cristaux d'apparence cubo-octaédrique en chapelets.

Station 1226

5 septembre 1901.
Fosse de Monaco.
Tube sondeur Buchanan.
Haut de l'échantillon.

Lat. = 30° 50' N.
Long. = 27° 27' W.
Prof. = 5430 m.

Vase calcaire.

Sable gros	»		après acide	»		et calcaire °/₀		»
Sable moyen	»		»	»		»		»
Sable fin	»		»	»		»		»
Sable très fin	tr.		»	0		»		»
Vase fins-fins	tr.	100	»	0	86	»		»
Vase arg. calc	100		»	»		»		14
Argile	»		»	86				
Calcaire	»		»	14				
	100			100				

Ammoniaque totale = 188 mmg par kilog.

Vase compacte gris-clair.
Spicules R.
Verre volcanique translucide rouge en grains très fins et très rares.

Station 1227 (haut)

5 septembre 1901.
Fosse de Monaco.
Tube sondeur Buchanan.
Haut de l'échantillon.

Lat. = 30° 50' N.
Long. = 27° 41' W.
Prof. = 5460 m.

Vase très calcaire avec un peu de pyroxène.

Sable		0		après acide...	0		et calcaire °/₀		»
Vase	fins-fins....	1	100	»	... tr.	45	»	.....	100
	arg. calc...	99		»	... »		»	.....	55
Argile		»		»	... 45				
Calcaire		»		»	... 55				
		100			100				

Ammoniaque totale = 207 mmg par kilog.

Vase fine gris-clair.

Spicules RR.

Grains amorphes rougissant par calcination et disparaissant avec HCl; grains opaques noirs RR, bâtonnets brun-opaque, déchiquetés et ressemblant à de la vase agrégée.

Grains minéraux très fins, polarisant faiblement; pyroxène (?)

Station 1227 (bas)

5 septembre 1901. Lat. = 30° 50' N.
Fosse de Monaco. Long. = 27° 41' W.
Tube sondeur Buchanan. Prof. = 5460 m.
Bas de l'échantillon (environ 10 cm au-dessous de 1227 haut).

Vase calcaire avec un peu de pyroxène.

Sable		1		après acide	0		et calcaire °/₀	100
Vase	fins-fins	4	99	»	1	68	»	75
	arg. calc	95		»	»		»	31
Argile		»		»	67			
Calcaire		»		»	32			
		100			100			

Ammoniaque totale = 268 mmg par kilog.

A 5 à 6 cm du sommet du cylindre, la vase gris-clair se transforme brusquement en argile foncée très compacte enveloppant et pénétrant irrégulièrement une vase grise identique à celle du haut de l'échantillon. Ainsi s'explique la diminution de la teneur en calcaire. L'argile est très plastique et fait effervescence; elle n'offre aucune trace d'organismes. Il est évident que 1127 porte la trace d'un changement brusque dans les conditions ambiantes, très probablement dû à un cataclysme volcanique.

Station 1230 (haut)

6 septembre 1901.
Fosse de Monaco.
Tube sondeur Buchanan.
Vers le milieu de l'échantillon.

Lat. = 31° 14' N.
Long. = 25° 49' 30" W.
Prof. = 5380 m.

Vase très calcaire avec un peu de pyroxène.

Sable		4		après acide	0		et calcaire %	100
Vase	fins-fins	4	96	»	1	43	»	75
	arg. calc	92		»	»		»	54
Argile		»		»	42			
Calcaire		»		»	57			
		100			100			

Ammoniaque totale = 107 mmg par kilog.

Vase fine homogène grise.
Radiolaires, spicules.
Grains opaques rouges, verre volcanique jaune, magma basaltique décomposé.
Amphibole, pyroxène.

Le haut de l'échantillon, peu consistant, est riche en Globigérines; vient ensuite une portion bleuâtre (qui est analysée ici) ayant environ 4 cm et, au-dessous, une portion rosée. La surface de séparation de ces diverses natures des fonds est irrégulière mais nette et brusque; elle se distingue parfaitement, surtout sur l'échantillon frais.

Station 1230 (bas)

6 septembre 1901. Lat. = 31° 14' N.
Fosse de Monaco. Long. = 25° 49' 30" W.
Tube sondeur Buchanan. Prof. = 5380 m.
Bas de l'échantillon (environ 8 cm au-dessous de 1230 haut).

Vase très calcaire avec un peu de pyroxène.

Sable		11		après acide	0		et calcaire °/₀	100
Vase	fins-fins	2	89	»	0	43	»	100
	arg. calc	87		»	»		»	50
Argile		»		»	43			
Calcaire		»		»	57			
		100			100			

Ammoniaque totale = 93 mmg par kilog.

Vase homogène fine, rosée.
Spicules RR.
Grains opaques rouges, verre volcanique blanc, translucide, bulleux, sans magnétite, verre volcanique jaune avec magnétite.
Pyroxène, quartz R.

Station 1233

8 septembre 1901.
3 milles S. de Madère.
Tube sondeur Buchanan.
Haut de l'échantillon.

Lat. = 32° 36' 30" N.
Long. = 19° 25' W.
Prof. = 611 m.

Vase sableuse calcaire basaltique.

Sable gros	tr.		après acide	0		et calcaire °/₀		100
Sable moyen	4		»	0		»		100
Sable fin	3		»	tr.		»		100
Sable très fin	15		»	10		»		33
Vase fins-fins	19	78	»	18	76	»		2
Vase arg. calc	59		»	»				
Argile	»		»	58				
Calcaire	»		»	14				
	100			100				

Ammoniaque totale = 207 mmg par kilog.

Vase brune grumeleuse.

Spicules R, Diatomées R.

Grains opaques rouges AA, verre volcanique jaune avec magnétite et sans magnétite, magma basaltique AA.

Amphibole brune, pyroxène verdâtre A, pyroxène violacé, péridot R, feldspath.

Ce fond est plus feldspathique et moins pyroxénique que les fonds voisins de l'archipel du Cap Vert.

Station 1234

8 septembre 1901.
A 4 milles S. de Madère.
Tube sondeur Buchanan.
Haut de l'échantillon.

Lat. = 32° 34' 20" N.
Long. = 19° 23' 40" W.
Prof. = 1500 m.

Vase calcaire basaltique.

Sable gros	tr.		après acide	»		et calcaire °/₀		»	
Sable moyen	1		»	0		»		100	
Sable fin	1		»	tr.		»		100	
Sable très fin	6		»	tr.		»		100	
Vase fins-fins	17	92	»	17	87	»		5	
Vase arg. calc	75		»	»					
Argile	»		»	70					
Calcaire	»		»	13					
	100			100					

Ammoniaque totale = 228 mmg par kilog.

Vase brune grumeleuse un peu moins foncée que 1233.
Globigérines, spicules.
Grains opaques rouges A, magma basaltique.
Amphibole brune R, pyroxène vert, péridot, feldspath.

Station 1246 (haut)

12 septembre 1901.
Au S.-E. du Portugal.
Tube sondeur Buchanan.
Haut de l'échantillon.

Lat. = 36° 03' N.
Long. = 10° 26' W.
Prof. = 1737 m.

Vase calcaire.

Sable gros	tr.		après acide	»		et calcaire °/₀		»	
Sable moyen	1		»	0		»		100	
Sable fin	tr.		»	0		»		100	
Sable très fin	1		»	0		»		100	
Vase fins-fins	2	98	»	2	74	»		24	
Vase arg. calc	96		»	»					
Argile	»		»	72					
Calcaire	»		»	26					
	100			100					

Ammoniaque totale = 215 mmg par kilog.

Vase grise très fine, très homogène.
Globigérines, Planorbulines, débris de Radiolaires, spicules R.
Grains opaques rouges, verre volcanique jaunâtre avec magnétite R.
Pyroxène RR (?), quartz A, feldspath AA.
Ce fond est particulièrement riche en fer.

Station 1246 (bas)

12 septembre 1901. Lat. = 36° 03' N.
Au S.-E. du Portugal. Long. = 10° 26' W.
Tube sondeur Buchanan. Prof. = 1737 m.
Bas de l'échantillon (8.5 cm au-dessous de 1246 haut).

Vase calcaire.

Sable gros	tr.		après acide	»		et calcaire °/₀		»
Sable moyen	1		»	0		»		100
Sable fin	1		»	0		»		100
Sable très fin	1		»	0		»		100
Vase fins-fins	1	97	»	1	72	»		0
Vase arg. calc	96		»	»		»		25
Argile	»		»	71				
Calcaire	»		»	28				
	100			100				

Ammoniaque totale = 228 mmg par kilog.

Identique à 1246 haut.

E. — Conclusions générales

(a). La plus grande partie des fonds marins recueillis pendant la campagne de la *Princesse-Alice* en 1901 et qui proviennent du voisinage des îles du Cap Vert, des Canaries et de Madère, régions éminemment volcaniques et de nature basaltique, sont eux-mêmes volcaniques et basaltiques. Chez presque tous, l'examen microscopique indique la présence du magma basaltique en grains formés de cristaux très petits de feldspath blanc, englobant des parcelles noires de magnétite. Ce magma caractéristique est facile à reconnaître en lumière réfléchie et se colore vivement par la naphtaline colorée. Les fonds marins voisins des Açores, récoltés par la *Princesse-Alice* pendant d'autres campagnes antérieures et dont j'ai pu faire un examen sommaire, sont également volcaniques mais très ponceux, ce qui les distingue immédiatement.

Les fonds de 1901 sont très ferrugineux. La magnétite est disséminée aussi bien dans le magma basaltique qu'en inclusions dans le verre volcanique, le pyroxène et le péridot. Nulle part je n'ai trouvé ce minéral en gros grains. Il n'est pas douteux cependant qu'il ne soit présent à cet état, plus près des côtes. Un simple triage au barreau aimanté permettrait de l'isoler sous forme de magnétite ou de fayalite. Ce dernier minéral n'est qu'un simple mélange de péridot assez chargé de magnétite ou, si l'on préfère, de magnétite assez peu chargée de péridot pour devenir attirable au barreau aimanté. Je me suis livré à l'examen d'un échantillon déterminé comme fayalite remarquablement pure, provenant d'un sable recueilli à la pointe de Grave, à l'embouchure de la Gironde, et qu'a bien voulu me procurer M. Périer, pharmacien à Pauillac. En procédant par des attaques à l'acide chlorhydrique de durée de plus en plus longue, suivies chacune d'un examen microscopique, on trouve parmi les grains, tous les passages : péridot pur ne présentant pas trace de magnétite et non attiré par le barreau aimanté, péridot un peu ferrugineux non attirable, péridot plus ferrugineux attirable à l'électro-aimant mais non attirable au barreau, péridot assez chargé de magnétite, par places, pour être attirable au barreau, enfin péridot complètement noir, aussi attirable que la magnétite et qui, traité par l'acide chlorhydrique, laisse un squelette blanc de péridot attaqué offrant l'aspect d'une éponge fine par suite de la dissolution de la magnétite en particules excessivement fines et nombreuses.

La magnétite se concentre dans les fins-fins et les argiles. Il ne peut en être autrement; l'enveloppe minérale des grains ferrugineux se détruit par effet mécanique, physique ou chimique, tandis que la magnétite dont les particules sont en même temps très lourdes, très petites et très résistantes à l'usure, se concentre de plus en plus dans les portions menues et sans cohésion du sol. Il en est certainement de même pour les sols continentaux.

(b). — J'ai cherché à savoir si les fonds sous-marins de la région étudiée par la *PRINCESSE-ALICE* en 1901 et qui sont tous placés dans la zone d'océan où se répandent les poussières du Sahara enlevées par les vents d'est et de nord-est, portaient des traces de ces phénomènes de déflation. J'espérais d'autant mieux réussir dans ma recherche que ces fonds, de nature volcanique, ne devaient par eux-mêmes point contenir de quartz.

Dans le but de reconnaître si un grain de quartz provenant d'un désert et longtemps soumis à la déflation, offre une forme particulière caractérisant son origine, j'ai observé deux échantillons de sable désertique, l'un recueilli à Hasi-bel-Kebach, dans le Sahara algérien et que j'avais déjà examiné autrefois, [1] l'autre sur le Sinaï.

Le sable de Hasi-bel-Kebach est en grains très arrondis, les gros avec un diamètre de 0.35 à 0.10 mm, les plus abondants entre 0.15 et 0.10 mm; aspect jaunâtre, trouble; certains d'entre eux tachetés de points opaques d'un rouge vif. La calcination n'a d'autre effet que d'aviver encore la nuance des points rouges; l'acide chlorhydrique fait disparaître leur teinte jaune et se colore en vert; les grains restent troubles et montrent, sous un fort grossissement, un grené qui semble caractéristique des effets de la déflation [2]. Cette apparence s'aperçoit le mieux lorsqu'on observe les grains à sec ou dans l'eau dont l'indice de réfraction, plus faible que celui de la naphtaline, dissimule moins les rugosités de surface. L'action modérée de l'acide fluorhydrique n'attaque que faiblement les grains de quartz tandis que ceux de feldspath sont fortement attaqués, deviennent opaques, montrent des contours déchiquetés et absorbent la naphtaline colorée.

La poussière du Sinaï est en grains assez petits (0.08 mm en moyenne) irréguliers, anguleux, quelques uns roulés, d'autres opaques, rouges et jaunes formant un mélange de quartz hyalin, de quartz cristallinique et de calcaire.

Malgré le petit nombre des échantillons à ma disposition, j'ai pu constater que les sables désertiques peuvent être ronds ou anguleux et être constitués par les mêmes minéraux, cristallisés ou non cristallisés, que ceux qu'on rencontre dans les fonds marins. Je n'oserais encore affirmer que les grains que j'ai vus dans les fonds et qui paraissent offrir ce caractère d'un grené superficiel aient en réalité une origine désertique. Je réserve la réponse bien nette à cette question pour le jour où j'aurai pu faire plus d'observations sur les sables désertiques. Peut-être la connaissance de certains organismes siliceux microscopiques des fonds marins donnera-t-elle des résultats plus concluants?

(c). — L'ammoniaque contenue dans les fonds marins provient évidemment de la matière organique provenant elle-même des êtres organisés, minéraux ou végé-

[1] J. Thoulet. *Etude minéralogique d'un sable du Sahara*, Bull. Soc. minér. de France, T. IV, p. 262. 1881.

[2] J. Walther. *Die Denudation in der Wüste und ihre geologische Bedeutung*, Abhandlungen der math. phys. Classe der Königl. Sächsischen Gesellsch. der Wissensch. nº III. XVI Bd. Leipzig 1891.

taux, qui ont vécu aussi bien à la surface du sol immergé que dans l'eau sus-jacente et qui, après leur mort, se sont accumulés sur le fond. L'ammoniaque ou du moins la matière organique azotée donnant naissance à de l'ammoniaque existe-t-elle dans les coquilles vivantes, mortes depuis quelque temps et fossilisées — les anciens fonds marins aujourd'hui roches géologiques émergées renferment-ils encore de la matière organique — enfin une certaine proportion de l'ammoniaque trouvée dans les fonds marins actuels desséchés n'aurait-elle pas été empruntée par eux à l'atmosphère ambiante par suite d'une attraction moléculaire s'exerçant à la surface même des grains constituant le fond et par suite de la porosité de ceux-ci ? [1]

Profitant de l'extrême sensibilité du dosage de l'ammoniaque par la méthode indiquée précédemment, j'ai exécuté les analyses suivantes sur 0.5 g de matière d'essai. Les chiffres représentent le nombre de milligrammes d'ammoniaque par kilogramme de matière.

1. — Patelle vivante recueillie sur les Guinimiau, au nord de Quemenez (Finistère), Ech. n° 1	309
2. — Patelle vivante, même provenance, Ech. n° 2	288
3. — *Venus verrucosa* morte, même provenance	229
4. — *Cardium tuberculatum*, coquille morte, couverte de serpules, recueillie dans le golfe de Gascogne par 169 m de profondeur. Expédition du *Caudan*	107
5. — *Gryphaea arcuata* (Art-sur-Meurthe)	0
6. — Térébratule (Morey, Côte-d'Or)	0
7. — Argile dans laquelle se trouvent les fossiles précédents	6
8. — Calcaire oolithique (rauracien, St. Mihiel)	2
9. — Magnésie non récemment calcinée et exposée pendant vingt-quatre heures à l'air libre	0

Il résulte de ces analyses que :

Les coquilles vivantes contiennent de la matière organique transformable en ammoniaque dont la proportion parait être à peu près la même pour une même espèce et diminuer avec le temps qui s'est écoulé depuis la mort de l'animal ayant habité la coquille.

Les coquilles fossiles ne contiennent plus de matière organique transformable en ammoniaque.

Les roches sédimentaires géologiques ne contiennent pas de matière organique transformable en ammoniaque.

[1] J. Thoulet. *Attraction s'exerçant entre les corps en dissolution et les corps solides immergés*, C. R. Ac. Sc. T. c, p. 1002. 1885 — T. xcix, p. 1072. 1885.

Les corps pulvérulents n'attirent et ne condensent pas — du moins dans les conditions ordinaires — l'ammoniaque pouvant être contenue dans l'air atmosphérique ambiant.

(d). — Les sédiments marins déposés sur le fond éprouvent-ils des variations dans leur nature ou dans les proportions relatives de leurs divers éléments constituants, variations se manifestant par des différences de composition? Pour répondre à cette question, sur dix boudins qui, au moment de leur récolte, avaient été marqués de façon à reconnaître le haut et le bas, j'ai pris deux échantillons, l'un aussi haut et l'autre aussi bas que possible, la portion inférieure du cylindre supérieur enlevé étant à une distance d'une dizaine de centimètres environ de la portion la plus haute de la prise d'essai cylindrique inférieure. Les deux portions ont ensuite été analysées séparément.

Le tableau suivant donne l'ensemble des résultats de cette double étude de chaque échantillon; pour les autres détails, on pourra s'en rapporter aux tableaux généraux des stations.

TABLEAU DONNANT L'ENSEMBLE DES RÉSULTATS DE CHAQUE ÉCHANTILLON

Station	Profondeur	Proportion de vase			Proportion de calcaire dans la vase			Proportion totale de calcaire			Proportion de grains gros et moyens			Proportion de grains fins et très fins			Proportion de grains minéraux non calcaires			Az H³ totale en mmg par kilog.		
		Haut	Bas	Diff.	Haut	Bas	Diff.	Haut	Bas	Diff.	Haut	Bas	Diff.	Haut	Bas	Diff.	Haut	Bas	Diff.	Haut	Bas	Diff.
1113	851	59	39	+ 10	28	20	+ 8	57	69	— 12	15	19	— 4	26	42	— 16	1	0	+ 1	32	61	— 29
1198	875	76	75	+ 1	69	73	— 4	77	80	— 3	1	1	0	23	24	— 1	0	0	0	1739	1429	+ 310
1192	1311	60	61	— 1	65	77	— 12	78	85	— 7	2	3	— 1	38	36	+ 2	1	1	0	692	574	+ 118
1205	1477	73	75	— 2	70	67	+ 3	78	75	+ 3	6	6	0	21	19	+ 2	0	0	0	329	408	— 79
1246	1737	98	97	+ 1	24	25	— 1	26	28	— 2	1	1	0	1	2	— 1	0	0	0	215	228	— 13
1115	2165	93	95	— 2	42	39	+ 3	46	42	+ 4	2	1	+ 1	5	4	+ 1	0	0	0	249	228	+ 21
1181	2478	52	45	+ 7	10	3	+ 2	10	9	+ 1	3	15	— 12	45	40	+ 5	43	50	— 7	188	228	— 40
1125	3968	68	63	+ 5	67	60	+ 7	78	75	+ 3	10	11	— 1	22	26	— 4	0	0	0	53	77	— 24
1230	5380	96	89	+ 7	54	50	+ 4	57	57	0	4	11	— 7	4	11	— 7	0	0	0	107	93	+ 14
1227	5460	100	99	+ 1	55	31	+ 14	55	32	+ 23	0	1	— 1	0	1	— 1	0	0	0	207	268	— 61
Moyenne		7.75	73.8	+ 2.7	48.4	45.0	+ 2.4	56.2	55.2	+ 1.0	4.4	6.9	— 2.5	18.5	20.5	— 2.0	4.5	5.1	— 0.6	381.1	359.4	+ 21.7

L'examen du tableau montre que, à mesure qu'on pénètre plus profondément dans l'épaisseur du sol sous-marin, il y a diminution de la proportion de vase, diminution du calcaire contenu dans la vase, diminution de la quantité totale du calcaire et au contraire, augmentation de la proportion des grains sableux qui est d'ailleurs inverse de celle de la vase, augmentation de la proportion d'argile pure inattaquable aux acides contenus dans la vase, augmentation des grains gros, moyens, fins et très fins. Les grains minéraux non calcaires sont trop peu abondants dans les échantillons analysés et trop irrégulièrement distribués pour autoriser à formuler une conclusion à leur égard. Il en est de même pour l'ammoniaque totale qui semble pourtant être plus abondante à la surface du sol sous-marin. Le nombre des échantillons étudiés et l'épaisseur observable sont encore trop petits pour qu'on se permette de se montrer trop affirmatif.

Les lois énoncées paraissent, en général, être d'autant plus nettes que les fonds considérés sont situés à des profondeurs plus considérables au-dessous de la surface de l'eau. Toutefois on reconnait que les variations constatées soit en plus, soit en moins, sont faibles et tout-à-fait comparables aux variations analogues dans l'épaisseur des couches géologiques. Il est évident qu'elles proviennent en majeure partie de modifications qui se sont fait sentir dans les couches d'eau sus-jacentes et particulièrement à la surface. Il en résulte que, même aux plus grandes profondeurs, la constitution du fond des océans est sous l'influence des conditions superficielles et en porte la trace. Cette observation est applicable aux couches géologiques.

(e). — L'analyse d'une série de fonds marins recueillis par la *PRINCESSE-ALICE* pendant diverses campagnes[1] antérieures à 1901 avait conduit à formuler la loi suivante.

Par petites profondeurs, la teneur en calcaire, des sables contenus dans un fond, décroit à mesure que ce sable augmente de finesse. Par grandes profondeurs, elle reste à peu près uniforme dans les sables gros moyens et fins, diminue dans les sables très fins et devient minimum dans la vase. Mais plus la vase et profonde, plus elle est riche en calcaire. La proportion totale de calcaire d'un échantillon parait croître avec la profondeur à laquelle a été récolté cet échantillon.

La première partie de la loi se vérifie sur les nouveaux échantillons étudiés. La seconde partie, relative à la richesse croissante en calcaire d'un fond avec la profondeur, se vérifie de moins en moins. La distribution du calcaire devient très irrégulière ainsi que le montre le tableau suivant résumant les résultats des analyses anciennes et nouvelles.

[1] J. Thoulet. *Etude de fonds marins provenant du voisinage des Açores et de la portion orientale de l'Atlantique nord*. Résultats des campagnes scientifiques accomplies sur son yacht par Albert Ier Prince Souverain de Monaco. Fasc. XIX. 1901.

Profondeur	Nombre d'éch.	Calc. total % (moyenne)
611 — 1000 m	7	44.7
1000 — 2000 m	29	46.5
2000 — 3000 m	16	50.3
3000 — 4000 m	12	59.2
4000 — 5000 m	8	66.7
5000 — 6000 m	9	49.2
6035 m	1	1

J'avais prévu ce fait car dans le travail cité[1] j'ajoutais : « il est probable que « l'augmentation du calcaire avec la profondeur est plus apparente que réelle et que « la répartition du calcaire tient surtout à d'autres causes. »

Cherchons maintenant sur 79 fonds anciens et nouveaux classés ensemble par intervalles de 1000 m, la loi de la répartition des grains minéraux non calcaires évalués en moyenne pour chaque classe.

Profondeur	Nomb. d'éch.	Gros	Moyens	Fins	Très fins	Arg. et fins-fins
611 — 1000 m	7	0.5	0.2	1.2	8.3	46.4
1000 — 2000 m	28	1.3	2.0	1.7	0.8	40.5
2000 — 3000 m	16	0.5	0.9	0.9	8.1	39.1
3000 — 4000 m	11	0.03	0.03	0.05	1.2	37.7
4000 — 5000 m	8	0.01	0.02	0.06	0.9	31.2
5000 — 6000 m	8	»	»	0.01	0.08	50.6
6035 m	1	»	»	»	»	99.0

Le tableau montre que la diminution des grains minéraux et l'augmentation de l'argile et des fins-fins s'accordent mal avec l'accroissement de la profondeur ; les irrégularités sont trop considérables pour qu'on puisse admettre une relation simple entre ces diverses variables.

En réalité la constitution des fonds ne dépend pas de la profondeur. Si d'une manière générale les parties profondes des océans sont plus abondantes en vase, on en trouve le motif, non dans la profondeur, mais dans ce fait que les portions les plus éloignées des côtes sont généralement les plus profondes.

La constitution d'un fond est fonction d'une double variable :

1° La teneur en calcaire qui résulte des conditions de la vie dans les couches d'eau sus-jacentes, c'est-à-dire de la température, de la salure et, subsidiairement, des courants entraînant après leur mort les organismes calcaires de surface.

2° La teneur en minéraux non calcaires qui dépend de la distance à la terre d'où proviennent les minéraux, distance mesurée non pas en ligne droite mais suivant le courant arrivant de cette côte.

[1] J. Thoulet *loc. cit.* p. 18.

Il importe donc d'étudier les fonds de deux façons.

1° Au point de vue de leur teneur en calcaire en les comparant avec des cartes de température et de salure. La question est du domaine de l'histoire naturelle; l'océanographie se borne à établir les cartes de données physiques qu'utilisera ensuite le naturaliste.

2° Au point de vue de leur teneur en minéraux non calcaires, rangés par ordre de grosseur, en les comparant avec des cartes géographiques, géologiques et de courants superficiels et profonds.

La nature des minéraux non calcaires marque la provenance des fonds; la proportion des grains de chaque dimension indique la distance au lieu d'origine comptée suivant le courant transporteur. Les grains diminuant de dimensions avec la distance parcourue et la force du courant servent, en quelque sorte, de mesure à celui-ci.

Le triage par dimensions des grains minéraux prend une grande importance et il est indispensable d'établir, parmi les fins-fins, des catégories précises en les isolant de l'argile proprement dite avec assez d'exactitude pour permettre d'affirmer le chiffre représentant leur poids pour cent. On y parviendra au moyen d'une lévigation méthodique du genre de celle que j'ai employée dans mes études des fonds de la campagne du *CAUDAN*[1].

Le procédé est destiné à rendre de précieux services à la géologie synthétique. Si on se débarrasse, par une attaque à l'acide, du calcaire d'une roche sédimentaire, si on dose ensuite et qu'on étudie au microscope les grains minéraux recueillis, on se renseignera sur les conditions de la mer, aujourd'hui disparue, au sein de laquelle se sont déposés les sédiments maintenant émergés et constituant une couche géologique.

Résumé

On a étudié dans le présent mémoire 49 échantillons d'eau et 32 échantillons de fonds récoltés par la *PRINCESSE-ALICE* en 1901 depuis la surface de la mer jusqu'à 6035 m de profondeur. Les résultats comparés, pour les fonds, avec les soixante analyses exécutées antérieurement par les mêmes procédés, ont permis de mettre en lumière un certain nombre de faits.

Pour les échantillons d'eaux, on a mesuré la température *in situ*, la densité, la chloruration, la salinité, les matières organiques oxydables, l'ammoniaque libre et l'ammoniaque albuminoïde.

La mesure de la densité *in situ* est destinée à expliquer l'économie de la circulation océanique superficielle et surtout profonde. Il convient, pour parvenir à ce résultat, d'étudier et de comparer les densités d'échantillons récoltés non pas çà et là et à des époques quelconques de l'année à la surface des océans, mais pris en séries

[1] J. Thoulet. *Analyse lithologique de fonds marins provenant du Golfe de Cascogne.* C. R. Ac. Sc. T. CXXIV p. 382, 1897, et Revue Maritime, mai 1898, pp. 246-286.

verticales depuis la surface jusqu'au fond et aussi rapprochés que possible les uns des autres.

Dans l'Atlantique nord, l'ammoniaque libre dans les eaux, un peu plus abondante dans les mille premiers mètres que plus bas, est distribuée assez irrégulièrement.

L'ammoniaque albuminoïde, plus abondante, elle aussi, dans les eaux superficielles, se maintient ensuite dans une proportion constante. La répartition semble être la même pour les matières organiques oxydables et azotées.

Un simple tube de verre cylindrique permet d'évaluer rapidement, quoique d'une manière approchée, la nature des fonds et de les nommer.

La densité des fonds est une médiocre caractéristique de ceux-ci.

Les fonds marins semblent perdre, en séchant, une sorte d'eau de carrière; séchés aussitôt après leur sortie de l'eau, ils sont très hygrométriques et absorbent jusqu'à 24 °/₀ de leur poids d'humidité.

On parvient à reconnaître au microscope, l'espèce minérale des grains contenus dans les fonds et si petits qu'il en faut environ 20000 pour peser 1 milligramme, par divers procédés méthodiques consistant en calcination, coloration à la naphtaline monobromée colorée, attaque aux acides, etc.

La quantité d'ammoniaque totale contenue dans un fond n'est en relation ni avec la profondeur ni avec l'épaisseur de ce fond.

La magnétite se concentre dans les portions les plus fines des fonds marins; mélangée en très forte proportion au péridot, elle constitue la fayalite.

On peut extraire de l'ammoniaque de tous les fonds marins et des coquilles vivantes ou mortes depuis un certain temps. On n'en recueille ni dans les coquilles fossiles ni dans les roches géologiques.

Les différences de constitution dans l'épaisseur même du sol océanique, à 10 ou 15 cm de distance verticale, sont réelles quoique faibles et analogues à celles qu'on constate pour les roches géologiques dans les mêmes conditions.

La teneur en calcaire d'un fond dépend, non de la profondeur, mais des conditions physiques (température, salinité, etc.) influençant la vie dans les couches d'eau sus-jacentes. La teneur en minéraux non calcaires dépend des conditions géographiques et océanographiques de ces eaux sus-jacentes. Le triage précis des grains les plus fins et l'évaluation exacte de leur poids prennent une importance considérable; on y parvient par des lévigations méthodiques.

En déconstituant une roche calcaire par une attaque à l'acide étendu, en recueillant les grains minéraux inattaquables, en les dosant et en les examinant au microscope, on acquiert de très précieux renseignements sur la genèse et l'histoire passée de cette roche.

Fig. 2

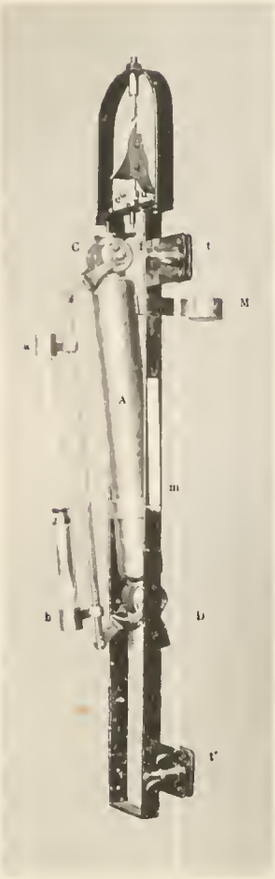

Fig. 1

Fig. 3

Fig. 4

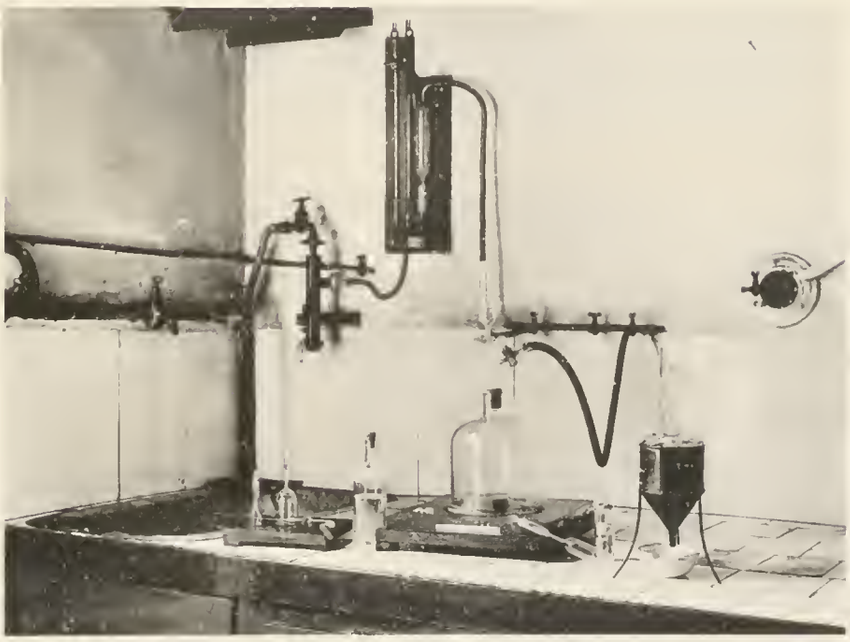

Fig. 1. Boîte à échantillons d'eaux marines. — Fig. 2. Bouteille Richard en descente.
Fig. 3. Bouteille Richard en montée. — Fig. 4. Mesure de la densité des échantillons d'eaux et de fonds marins.

Phototypie A. Bergeret et Cie — Nancy.

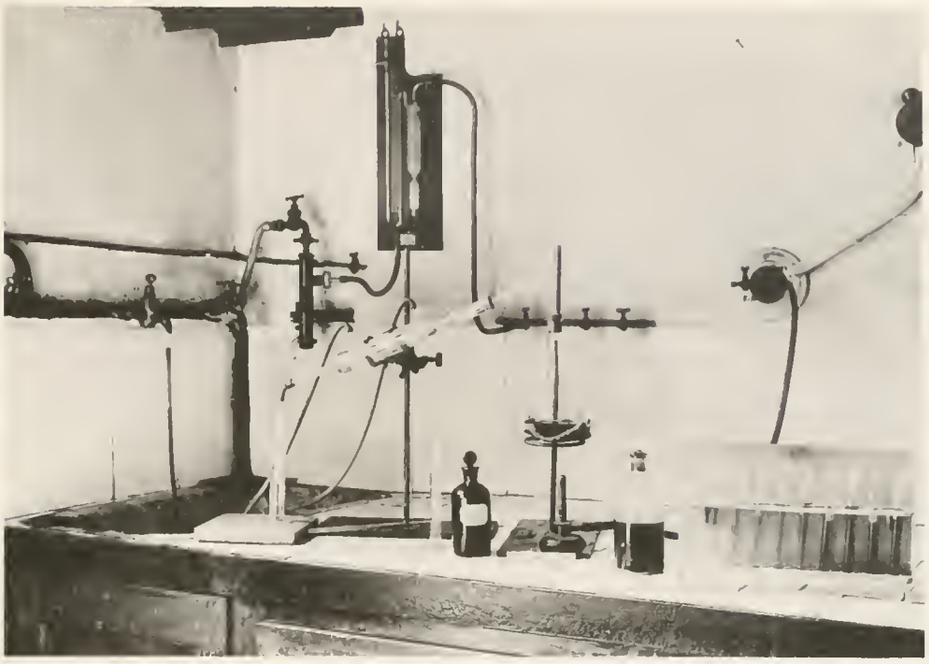

Fig. 6.

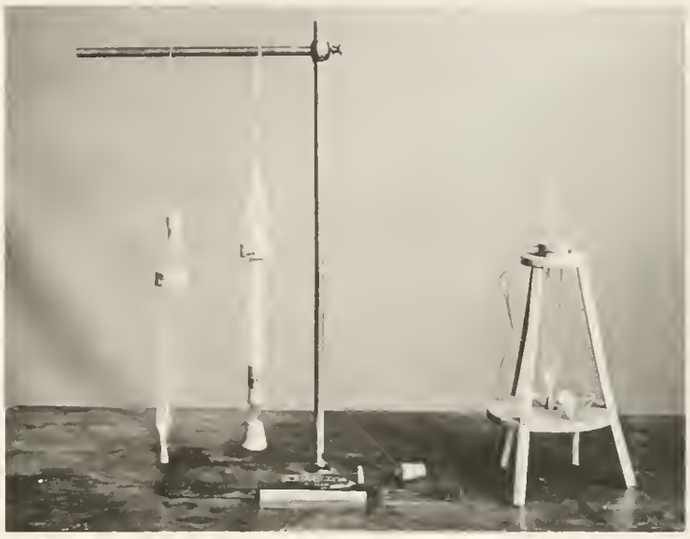

Fig. 5

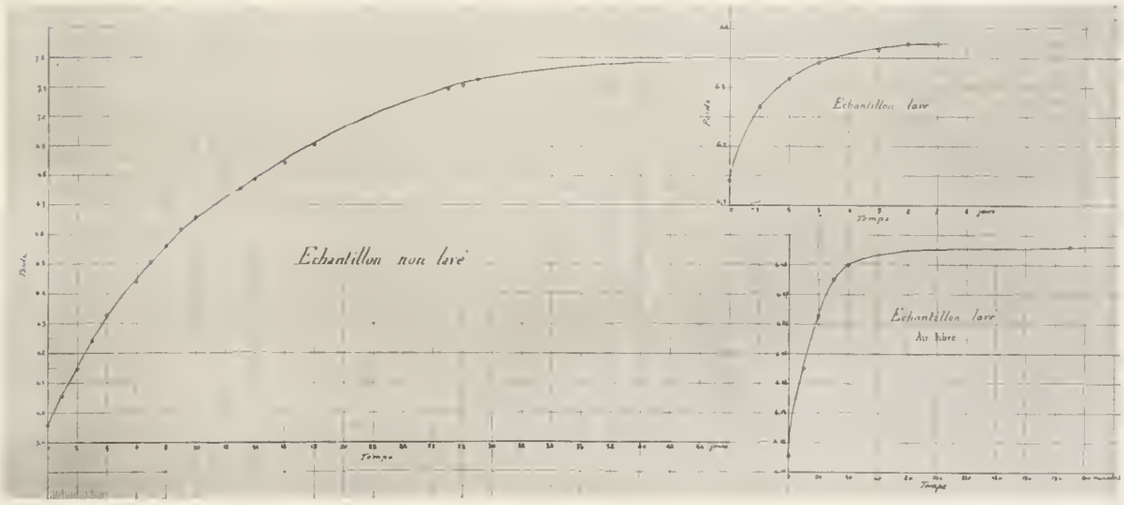

Fig. 7

Fig. 5. Tube classeur pour l'analyse mécanique approximative des fonds marins. — Fig. 6. Dosage de l'Ammoniaque libre et albuminoïde dans les eaux et les fonds marins. — Fig. 7. Hygrométricité des fonds marins.

Phototypie A. Bergeret et Cie — Nancy.

Fig. 8

Phototypie A. Bergeret et Cie. — Nancy.

Fig. 11

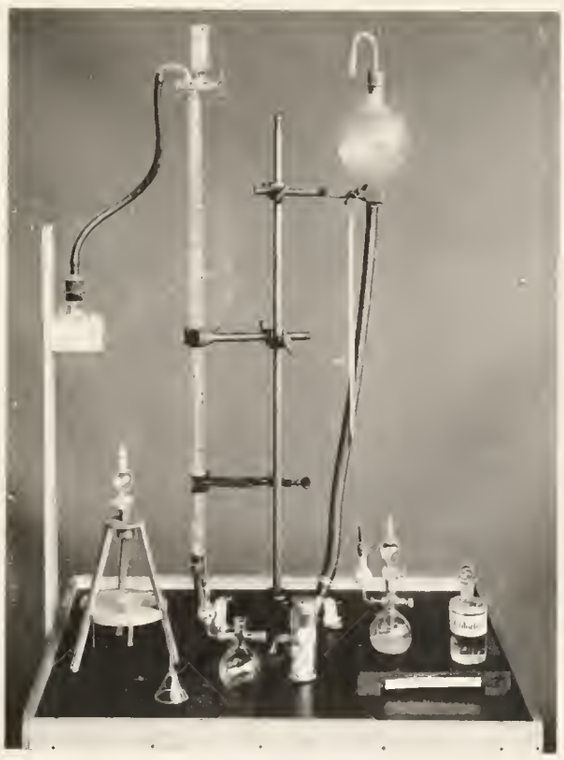

Fig. 9

Fig. 10

Fig. 8. Appareils divers pour l'Analyse mécanique des fonds marins — Fig. 9. Dosage de l'Acide carbonique dans les fonds marins — Fig. 10. Flacon pour le dosage de l'Acide carbonique — Fig. 11. Appareil de triage par la liqueur d'Iodures.